



**HAL**  
open science

# Le changement en période de transition énergétique

Kélian Coupeau

► **To cite this version:**

Kélian Coupeau. Le changement en période de transition énergétique. Gestion et management. 2023. dumas-04399911

**HAL Id: dumas-04399911**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04399911>**

Submitted on 17 Jan 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Mémoire d'alternance

**Le changement  
en période de  
transition énergétique**

**Présenté par : Kélian COUPEAU**

**Entreprise d'accueil : TotalEnergies, 562  
av Parc de l'île 92000**

**Date de stage : du 05/09/22 au 30/06/23**

**Tuteur entreprise : PASINETTI Laurence  
Tuteur universitaire : MENISSIER Thierry**

**Master 2 Alternance  
Master Innovation  
2022 - 2023**





### Avertissement :

Grenoble IAE, au sein de l'Université Grenoble Alpes, n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires des candidats aux masters en alternance : ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Tenant compte de la confidentialité des informations ayant trait à telle ou telle entreprise, une éventuelle diffusion relève de la seule responsabilité de l'auteur et ne peut être faite sans son accord.

# RÉSUMÉ

Dans un contexte de réchauffement climatique, il est essentiel de diminuer nos émissions de gaz à effet de serre. L'un des principaux pôles d'émissions est lié à notre utilisation des énergies fossiles. Dans ce mémoire, nous nous intéressons à la notion de transition afin d'aller vers un système énergétique moins émetteur. L'énergie est à l'origine de l'ensemble de nos activités. Nous en sommes dépendant pour assurer notre niveau de vie. Ainsi, les changements nécessaires afin de réduire nos émissions impliquent des modifications profondes et structurelles. Le mémoire tente d'apporter une vision macroscopique d'un système complexe en prenant en compte les enjeux géopolitiques, socio-économiques et environnementaux. Dans cet environnement en pleine mutation, l'innovation peut jouer un rôle dans l'atteinte de notre objectif d'un système énergétique décarboné.

**Mots clés** : Système énergétique, *Energy system*, Innovation, Transition Énergétique, *Energy transition*, Enjeux sociétales, *Societal issues*, Analyse systémique, *Systemic analysis*.

# Sommaire

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>5</b>
<b>Sommaire.....</b>	<b>6</b>
<b>Avant-propos.....</b>	<b>8</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>10</b>
<b>I. Etude historique des transitions Énergétiques.....</b>	<b>12</b>
A. L'ère du Charbon.....	14
1. Exploitation de la ressource.....	14
2. Les impacts sur l'industrie.....	19
3. Les impacts sociétaux.....	23
B. L'ère du pétrole.....	27
1. Exploitation de la ressource.....	27
2. Les impacts sur l'industrie.....	33
3. Les impacts sociétaux.....	39
C. Définition d'une transition énergétique.....	43
1. Définition et observation.....	43
2. Les impacts des transitions.....	48
<b>II. Nos transitions Énergétiques.....</b>	<b>50</b>
A. Les enjeux de notre transition énergétique.....	50
1. Réduction émissions GES.....	50
2. Construire un mix énergétique.....	53
B. Les impacts de la transition.....	58
1. Exploitation de la ressource :.....	58
2. Impact industriel.....	62
3. Impact sociétal.....	66
C. Protection de la biodiversité.....	70
1. Déclin de la biodiversité.....	70

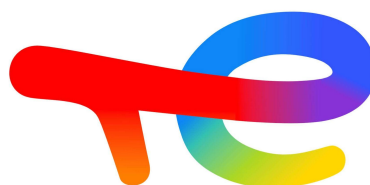
2. Une vision à long terme ?.....	72
<b>III. Conduite de projet d'innovation en période de transition énergétique.....</b>	<b>75</b>
A. Caractéristique de gestion de projet d'innovation.....	75
1. Gestion de projet.....	75
2. L'innovation.....	79
B. Gestion de l'innovation chez TotalEnergies.....	85
1. L'innovation au sein du CG.....	85
2. Les difficultés au Commerce Général.....	89
3. Comment un grand acteur peut se transformer sans développer l'innovation en interne.....	93
C. L'innovation au service de la transition.....	97
1. Innovation par les usages ?.....	97
2. Analyse systémique.....	100
<b>Conclusion.....</b>	<b>106</b>
<b>Bibliographie :.....</b>	<b>109</b>

# Avant-propos

Ce mémoire a été réalisé dans le cadre d'un Master 2 management de l'innovation de l'Institut d'Administration des Entreprises de Grenoble. Cette dernière année d'étude fut effectuée en alternance au sein de TotalEnergies. L'entreprise a été fondée en 1924 sous le nom de la Compagnie Française des Pétroles. Elle devient Total en 1991.



La compagnie est présente sur l'ensemble des activités d'extraction, de raffinage, de chimie ainsi que de distribution de produits pétrolier et gazier. En 2011, elle acquiert près de 60% des parts de l'entreprise SunPower, spécialisée dans la production d'énergie solaire. Ce rachat signe le début d'une politique de diversification du groupe dans la production et distribution d'énergie. Le 28 mai 2021, l'assemblée générale de Total vote pour la transformation du nom du groupe pour devenir TotalEnergies. Le logo représente l'ensemble du portefeuille d'énergie que l'entreprise veut développer.



PÉTROLE



GAZ



ÉLECTRICITÉ



HYDROGÈNE



BIOMASSE



ÉOLIEN

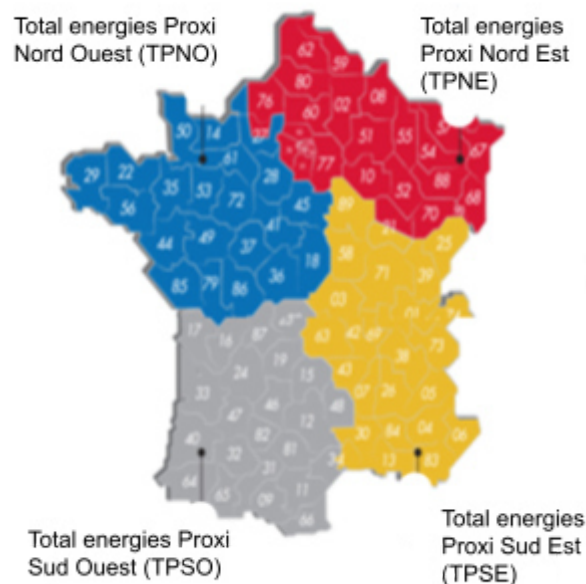


SOLAIRE



De nos jours, les activités ne s'arrêtent plus aux énergies fossiles et s'étendent à l'ensemble des moyens de production d'énergies. TotalEnergies participe au déploiement de parcs éoliens et solaires, mais aussi dans la production de biogaz. Elle rachète en 2021 Fonroche, le leader du gaz renouvelable en France. L'entreprise est présente dans 130 pays et embauche près de 130 000 personnes à travers le monde.

L'alternance se déroule au sein du Commerce Général de TotalEnergies Marketing France. Cette direction a pour missions le pilotage des activités commerciales, services et de distribution de différentes énergies. Les produits vendus sont issus de combustibles pétroliers (fioul lourd, GNL/GNC), d'hydrogène et de biomasse (solide et liquide). Cela comprend la gestion de 1 300 stations service (hors autoroute). Le Commerce Général élabore aussi les nouvelles gammes de produits et les politiques commerciales. L'ensemble des activités est réparti sur le territoire Français à travers les 4 filiales ci-dessous. Elles ont chacune pour mission d'assurer le bon déroulement et le maintien des opérations.



Nos clients business sont des industriels, des grandes surfaces ainsi que le secteur agricole. Nos activités "Business to client" sont centrées sur les particuliers via la vente fioul domestique et de pellet. Le Commerce Général est souvent considéré comme étant le siège des activités France chez TotalEnergies.

# Introduction

L'énergie est une ressource essentielle pour notre société. Elle est à l'essence même de l'ensemble des activités humaines. Les actualités récentes nous l'ont rappelé. La guerre en Ukraine a permis de montrer à la fois notre dépendance aux énergies et leurs importances dans notre société. Ce conflit a eu des conséquences majeures sur l'importation des ressources fossiles russes. Les pays européens ont été touchés de plein fouet par cette dépendance énergétique. Certains ont été plus touchés que d'autres. Ce fut notamment le cas de l'Allemagne dont 55% des approvisionnements en gaz venaient de Russie. Les entreprises ont dû faire face à une importante hausse du coût de l'énergie ce qui a grandement impacté l'industrie. Nous avons donc assisté à une importante inflation. Celle-ci se traduit par une baisse du pouvoir d'achat et donc de la consommation. Lorsque l'économie est touchée, c'est l'ensemble des acteurs qui le sont inévitablement.

Toutefois, notre dépendance aux énergies doit faire face à un autre enjeu de longue date. Il est insidieux, car il peut être parfois invisible à nos yeux dans notre vie quotidienne. Cependant, ses impacts sont déjà bien présents. Nous parlons bien évidemment du réchauffement climatique. Les émissions de gaz à effet de serre issues de nos activités, proviennent de la consommation d'énergie fossiles qui assurent notre niveau de vie. Aujourd'hui, ces sources d'énergies représentent près de 82% de la consommation primaire mondiale. La production d'électricité n'est pas en reste avec 61,4% générée à partir de sources fossiles. Malgré l'enjeu, la demande est en constante hausse. En 2021, son niveau a dépassé celui du pré-covid de 1,3%. La croissance économique des pays est un facteur de développement qui est corrélé à la consommation d'énergie.

Cette dépendance à ces ressources énergétiques et les conséquences de leur utilisation, nous conduisent vers une situation d'une complexité sûrement inédite à laquelle doit faire face l'ensemble du genre Humain. Afin de lutter contre ce phénomène, il n'y a qu'une seule solution. Il nous faut réduire drastiquement nos émissions. Pour cela il faudra réaliser une transition dans les énergies que nous consommons. Elles nous servent à produire, se déplacer, mais aussi à manger. Ce défi ne pourra être atteint sans la participation des grandes organisations qui

produisent et distribuent ces énergies. Elles nous fournissent le pétrole, le gaz, le charbon et l'électricité dont nous avons besoin. TotalEnergies en est l'un des acteurs majeurs. En ce mois de juin 2022, les actionnaires du groupe ont validé l'objectif climat 2050. Il est question de baisser la part des énergies fossiles dans le mix de l'entreprise. Il devrait être de 50% d'énergies renouvelables, 25% d'énergies bas carbone et les 25% autres pour la part du fossile. Ces transitions représentent un bouleversement important des activités du groupe dont la part du fossile représente 80% des ventes. La transition est un enjeu de société, mais aussi de survie pour une entreprise comme TotalEnergies.

Dans ce contexte tumultueux, nous allons nous intéresser à la manière dont l'on peut mener la conduite du changement dans une période de transition énergétique. Afin de répondre à cette problématique, nous étudierons tout d'abord la notion de transition énergétique d'un point de vue historique. Pour cela, on se tournera vers le passé pour étudier le développement du charbon et du pétrole dans la consommation mondiale d'énergies. Lors de cette partie, nous nous focaliserons sur trois axes pour chacune d'entre elles. On étudiera les caractéristiques de l'exploitation de la ressource, les impacts qu'elles ont eus sur l'industrie puis sur la société. Il sera alors possible de définir ce qu'est une transition énergétique. A partir de cela, nous nous intéresserons à notre transition afin de lutter contre le réchauffement climatique lors de la seconde partie. On pourra alors définir les enjeux de celle-ci et les potentiels impacts qu'elle pourrait avoir selon les trois mêmes axes précédemment décrits. Lors de la dernière partie, nous verrons comment la gestion de projet d'innovation s'intègre dans la conduite du changement. Pour cela, on s'intéressera à ce qu'est un projet d'innovation et ces implications. On étudiera la place de celle-ci au sein de la transition de TotalEnergies et plus spécifiquement du Commerce Général. Nous verrons en quoi l'innovation est un levier intéressant de développement, mais dont la mise en place effective est complexe.

# I. Etude historique des transitions Énergétiques

“Le hasard fait bien les choses”. Il nous arrive régulièrement de penser ou d’exprimer cette phrase au cours de notre vie. Bien souvent, cela arrive lorsqu’un événement inattendu et favorable se produit sans que l’on ne puisse l’expliquer. Certains y voient un signe du destin et comment pourrait-il en être autrement. La seule raison permettant d’expliquer un événement aussi inopiné ne peut être que la résultante de la présence d’une volonté supérieure. Il existe cependant une vision qui paraît pour certains plus désenchantée tandis que d’autres la trouve passionnante. Ainsi, tout événement ayant une probabilité non nulle, finira toujours par se produire. Dans un monde où une infinité d’événements se produisent à la seconde, même l’imprévu et l’inimaginable deviennent possibles. Lorsque l’on voit le monde de cette manière cela peut vite donner le tournis. Pour causes, le nombre et les ordres de grandeur des variables à prendre en compte sont tels qu’il est complexe pour nous d’appréhender ce qui nous entoure de la sorte. Il en devient plus simple d’imaginer l’existence d’une entité créatrice afin d’expliquer ce que nous ne sommes pas encore capables de démontrer scientifiquement. Au contraire, on peut vouer en l’inexplicable une fascination qui permet de guider les scientifiques à toujours vouloir comprendre et mettre en lumière les mécanismes du monde qui nous entoure. Quel meilleur exemple que l’apparition de la vie sur Terre. Les scientifiques estiment son origine à 3,8 milliards d’années dans le milieu aquatique. Tandis que les premiers animaux ne seraient apparus que depuis 400 millions d’années. Il n’y a rien de plus extraordinaire que l’apparition de la vie. Les conditions nécessaires à son apparition et son développement sont très limitantes. La planète doit se trouver à une certaine distance du soleil afin d’obtenir à la fois des températures supportables pour le vivant, mais aussi une atmosphère. La présence de certains atomes a été nécessaire à l’apparition de la vie. Le monde du vivant est notamment composé principalement d’oxygène, d’hydrogène ainsi que de carbone.

La vie maritime et terrestre s’est développée sur l’ensemble de la planète pendant plusieurs centaines de millions d’années. Pour tous les êtres vivants, le cycle a un début puis une fin. Ainsi, ces organismes se sont décomposés par l’activité microbiologique. Dans un milieu où le dioxygène (O<sub>2</sub>) circule librement, le carbone qui compense ces organismes va se transformer en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). On

appelle cela la minéralisation totale. Lorsque la décomposition se réalise dans un milieu sans O<sub>2</sub> circulant, une partie du carbone va subir la minéralisation totale. En revanche, environ 1% de ce carbone va sédimenter. C'est cette sédimentation qui est à l'origine de ce que nous appelons "énergies fossiles" [Demirdjian,2005 :1-5]. Par cette appellation, on désigne principalement le charbon, le pétrole brut et le gaz. Ces énergies sont dites "primaires". Elles permettent sans transformation de délivrer de l'énergie (rayonnement solaire, énergies fossiles brut, vent, géothermie, etc..). On parlera de secondaire lorsqu'une énergie sera obtenue par le biais d'une "énergie primaire" (exemple : l'électricité d'origine thermique).

Durant cette première partie du mémoire, nous étudierons d'un point de vue historique les transitions énergétiques. Ainsi, nous commencerons par une analyse de l'ère du charbon via trois prismes. Tout d'abord, nous verrons les caractéristiques de l'exploitation de cette ressource, puis nous analyserons son impact sur l'industrie puis d'un point de vue sociétal. Il en sera de même pour l'ère du pétrole avec ces trois mêmes axes. Nous terminerons la première partie en définissant ce qu'est une transition énergétique d'après l'analyse historique précédemment faite.

## A. L'ère du Charbon

### 1. Exploitation de la ressource

Les êtres humains n'ont pas toujours utilisé des sources d'énergies fossiles pour subvenir à leurs besoins. L'un des premiers bouleversements fut sûrement la découverte du feu. Il est complexe pour les archéologues de déterminer la date de son apparition. On retrouve la trace de foyers datant de plus de 1,4 million d'années au Kenya près du lac Baringo. C'est vers 400-300 milles ans av.JC, que nous sommes en mesure de démontrer une intensification de foyers dit structurés et entretenus. On en a découvert sur le site historique de Terra Amata à Nice. La maîtrise de celui-ci a été l'un des fondamentaux pour atteindre notre niveau de développement. Tout d'abord, il a permis d'obtenir une source de lumière la nuit pour se déplacer mais aussi pour repousser les prédateurs. Le feu permet aux Hommes de faire cuire la viande de sorte à faciliter la digestion et diminuer le développement de parasites. Il a également aidé à développer des outils plus efficaces notamment en faisant durcir la pointe des lances. Le foyer a aussi facilité le développement de la vie sociale. Autour de celle-ci, les Hommes se réchauffent et communiquent notamment autour des accomplissements réalisés pendant la chasse. C'est notamment à partir de la domestication du feu, que l'on est capable d'établir des groupes avec des caractéristiques culturelles bien distinctes. Le foyer est à cette époque ce que l'on appelle de nos jours " un dispositif sociotechnique". Au sens où il a permis de créer des liens sociaux, culturels et plus tard économiques. Ces relations entre les Hommes sont mises en évidence par Henry de Lemley dans sa revue « Il y a 400 000 ans : la domestication du feu, un formidable moteur d'hominisation » de 2006. Il évoque la force du feu pour tisser le lien social et culturel entre les individus, « *Il a été surtout un facteur de communication et de convivialité. C'est autour du foyer...que s'est organisée et s'est développée la vie sociale...C'est à ce moment-là, que l'histoire des cultures se diversifie en traditions régionales*» [De Lemley, 2006,153]. Le lien économique est sûrement un terme quelque peu exagéré à ce moment de l'histoire. Nous pouvons cependant supposer l'existence d'échanges entre ceux qui chasse et les cueilleurs. Ainsi c'est autour du foyer que

s'organise la vie 400 000 milles ans avant notre époque. Le feu a été l'un des premiers vecteurs d'énergie provenant d'une source autre que celle des êtres humains.

Avant l'arrivée du charbon, nous utilisions des sources d'énergies provenant principalement du soleil. Nos activités étaient principalement liées à la culture, l'élevage. Nous utilisions le bois comme élément central de nos constructions des maisons, celles des bateaux et bien d'autres édifices. Nous l'utilisions aussi pour nous réchauffer et cuire la nourriture. Les sources d'énergies utilisées étaient renouvelables. Le vent et le courant des rivières étaient utilisés pour faire fonctionner les moulins mais aussi pour se déplacer. Nous utilisions aussi la force d'animaux tels que les chevaux ou les boeufs comme moyen de tractation. L'accès à ces énergies est limité. Ainsi, les populations ont dû s'installer près des forêts et des réseaux fluviaux. La population rurale est d'ailleurs bien plus importante que dans les villes jusqu'au milieu du 19 siècle. On compte 75% de la population française dans les zones rurales d'après "L'observatoires des territoires" dans une étude de 2022 sur l'évolution de la part de la population urbaine et rurale entre 1846 et 1968. L'énergie a toujours été le maître-mot de notre développement. Lorsque l'on perd l'accès à cette ressource, il en devient vital de trouver un moyen de substitution.

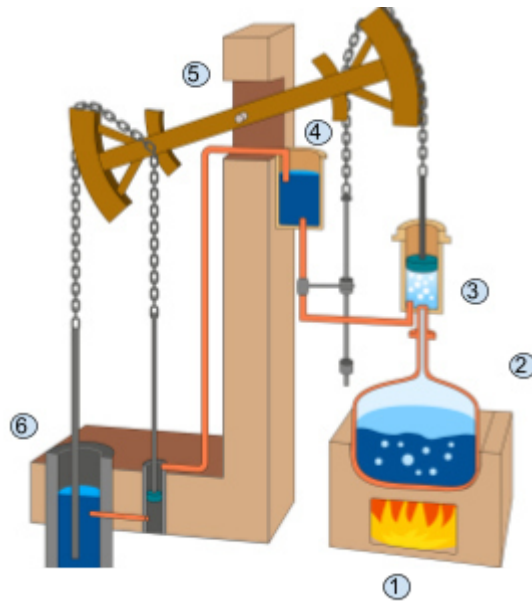
Comme on a pu le voir précédemment, le charbon de terre (*s'opposant aux charbons de bois en postcombustion*) est issu de la sédimentation de matière organique. La compression de cette sédimentation en profondeur dans le sol, va entraîner la création d'un charbon de plus en plus riche en carbone. La tourbe, composée de 45% à 55% de carbone seulement, est la plus accessible mais moins efficace dans la combustion. En allant chercher plus en profondeur, on va pouvoir trouver la Houille ( 75 % à 90% de carbone) puis l'anhracite (>90%). Les réserves se sont constituées il y a 150 à 300 millions d'années.

On retrouve des traces d'utilisation du charbon dès l'antiquité. Son extraction reste toutefois limitée puisqu'elle est plus contraignante d'un point de vue coût et technologie que l'utilisation du bois. C'est au Royaume-Uni que tout s'accélère à la fin du XVIème siècle. La synergie entre le développement de la démographie et la baisse en ressource forestière, a fait naître la nécessité de trouver une nouvelle source d'énergie abondante. On pu voir que la qualité du charbon dépendait fortement du type de sédimentation mais aussi de la profondeur. L'accès à cette

ressource était délicat pour de multiples raisons. Tout d'abord, il fallait creuser profondément afin d'atteindre les couches de houilles et d'antracite plus fortement composés en carbone. Cela nécessitait des moyens efficaces afin de faire remonter le charbon mais aussi pour extraire les gravats. De plus, les cavités étaient régulièrement inondées par des sources d'eau souterraine. On utilisait des attelages afin de désengorger les tunnels. A cela s'ajoutent les risques d'explosions. En dessous des 100 mètres de profondeur, commence à se composer le gaz naturel. Lors de la réaction chimique de décomposition de la matière organique, il y a une production de gaz. Ainsi lorsque les filons de charbon sont suffisamment profonds, les conditions de pression et de chaleur sont réunies pour permettre cette production de gaz. Lorsque les mineurs cassent la roche à l'aide de leur pioche, des étincelles peuvent se former. Il se produit un phénomène bien connu que l'on appelle "coup de grisou". Le gaz présent dans les tunnels entre en contact avec l'étincelle pour provoquer une explosion.

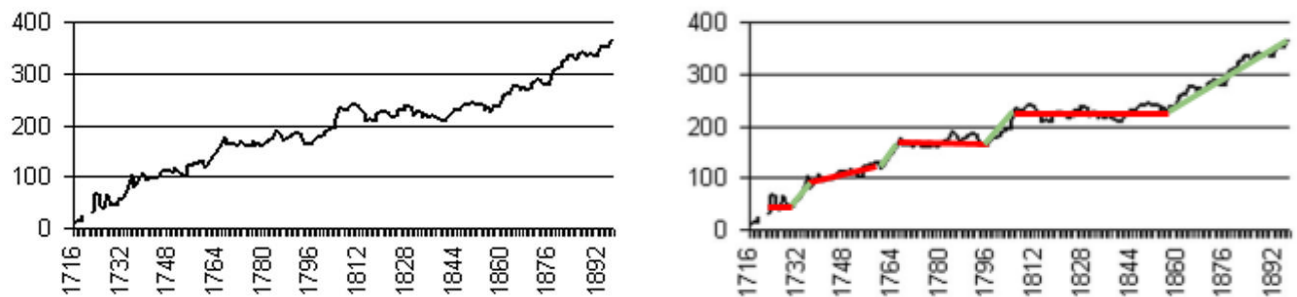
Les conditions d'extraction du charbon étaient avant le XVII<sup>e</sup> siècle trop coûteuses par rapport à l'énergie récupérée. En Angleterre, la pénurie de bois a fait augmenter le prix du charbon [Daumalin, Daviet, Mioche, 2004 : 53-73]. Ce qui a rendu plus intéressant financièrement le développement de la filière minière. Cet intérêt financier s'est notamment retranscrit dans le développement de la technologie de la machine à vapeur. Le pompage de l'eau présent dans les galeries par attelage ne permettait pas un rendement suffisant par rapport au prix du charbon. Le besoin d'intensification de la production ne peut être permis par l'utilisation des chevaux afin d'assurer le pompage. Entre la fin du XVII<sup>e</sup> et le début XVIII<sup>e</sup> siècle, des recherches sur la création de machine à vapeur s'intensifient. Les travaux de Thomas Savery, Denis Papin et Thomas Newcomen, mènent à la création de la pompe à feu pour le minage du charbon en 1712. Un foyer (1) alimenté en charbon chauffait de l'eau (2). La vapeur est comprimée par un piston (3) qui lorsque la pression est suffisamment forte va se déplacer verticalement à l'aide d'un contrepoids (5). La vapeur est ensuite confinée dans le piston puis refroidie par une arrivée d'eau (4). La vapeur se condense ce qui crée un vide. La pression atmosphérique va réaliser le reste du travail en faisant redescendre le piston. On obtient ainsi un mouvement permettant l'aspiration des eaux présentes dans les tunnels (6).





Bien que le rendement énergétique soit faible (de l'ordre de 1%), le foyer était alimenté à l'aide des résidus d'exploitation. Ce système permet aux mineurs d'accéder plus facilement à des couches plus profondes. Ce dispositif technique va se généraliser dans toute la Grande Bretagne à partir de 1720. En France, la pompe à feu est pour la première fois installée à Fresnes près d'Anzin en 1732. Les impacts sur la production sont loin d'être négligeables. La machine pouvait fonctionner à l'aide de deux personnes afin d'ouvrir et de fermer les valves d'arrivées d'eau. On pouvait ainsi évacuer en 48h l'équivalent de deux semaines de travail nuit et jour avec 20 hommes et 50 chevaux [Daumalin, Daviet, Mioche,2004,53-73]. Malgré cela, le système mettra plus de temps à se généraliser en France. Dans les départements du nord, seulement 13 systèmes de pompage fonctionnent à vapeur tandis que les 39 autres sont encore à molettes. Cela s'explique de par plusieurs facteurs. Tout d'abord la France n'avait structurellement pas les mêmes besoins en charbon que la Grande Bretagne. Au XVIII siècle, la forêt représente 8 à 9 millions d'hectares soit 12% de la superficie du territoire en France. A cette même époque seulement 6% de l'Angleterre en est recouverte, ce qui équivaut à moins d'un million d'hectares (0,8 million). La nécessité d'accessibilité à la ressource charbonnière n'est pas la même. En France, le prix du charbon n'est pas suffisamment compétitif pour une filière encore trop peu développée au début du XVIII. De plus, les investissements que nécessite la pompe à feu sont encore trop pour les entreprises. Il faudra attendre les améliorations portées par James Watt en 1787. Le développement de la filière du

Le charbon est étroitement corrélé à celui des améliorations technologiques. On a pu voir précédemment l'importance de la profondeur dans la formation d'un charbon de meilleure qualité. L'anhracite possède le plus haut taux de carbone ce qui lui confère un pouvoir calorifique bien supérieur. Seulement, son extraction se fait à des profondeurs plus importantes que la houille. Le développement et le perfectionnement de la machine à vapeur permettront d'atteindre cette ressource.



*Graphique : Profondeur moyenne des puits (mètres) dans les bassins du Nord et du Pas-de-Calais (1716-1897), Louis Fontvieille.*

On peut observer l'importance des innovations technologiques dans les deux schémas ci-dessus. Entre 1716 et 1732, l'extraction des eaux souterraines se fait principalement à l'aide d'attelages en France. Cela permet d'atteindre des profondeurs entre 50 mètres et 70 mètres. On s'aperçoit d'un premier changement à partir de 1732 (*première portion verte sur le graphique*), avec des puits atteignant les 120 m. On est à cette période sur les premières installations de pompes à feu. Des perfectionnements de celle-ci permettent aux mineurs d'atteindre les 170 mètres entre 1764 et 1802. La troisième portion verte correspond à l'arrivée des améliorations portées par James WATT entre 1776 et 1787. A partir de 1812, les puits peuvent atteindre les 240 mètres de profondeur. A partir de 1860, l'extraction en profondeur du charbon s'intensifie. Les raisons de ce développement ne sont pas tant technologiques que conjoncturelles. En effet, sous le second empire (1852-1870) la France connaît un développement industriel important [Marc SIMARD, 1983 :584]. L'exploitation du charbon connaîtra d'autres avancées telles que l'électrification des mines et des appareils de minage. Notamment l'utilisation de système de traction du charbon par locomotive au sein de la mine.

Ainsi le développement de la filière du charbon s'est réalisé conjointement entre un besoin vital d'accès à une source d'énergie et la technologie la rendant abondante. Son extraction demande des investissements importants et une demande suffisamment forte afin de rendre cette énergie viable. On remarque d'ailleurs que dans le monde, le charbon ne supplantera le bois comme source d'énergie primaire qu'à partir de 1880 [Jean-Pierre Favennec, 2009 : 49-62]. Aujourd'hui le charbon représente toujours la source principale d'énergie primaire (36%) permettant la production d'électricité dans le monde. En France, on observe une baisse de la consommation du charbon à partir des années 1970. Le charbon restera le plus gros pôle production d'énergie primaire jusque dans les années 1980 pour finalement disparaître à partir de 2004 [Gouvernement, 2021: 24]. Malgré cette disparition tardive, l'exploitation du charbon sur le sol Français a connu des problématiques d'extraction dès le début du XX siècle. Pour cause, 40% de la consommation provient de l'importation de celui-ci dont 60% du Royaume-Uni [Alain Beltran, Christophe Bouneau, Yves Bouvier, 2009: 109-127]. Cela s'explique tout d'abord par l'accès à la ressource avec moins de gisement et des conditions géologiques complexes. De plus, les rendements sont plus faibles que chez les autres grands producteurs européens et américains. A titre de comparaison, nous produisons 1,3 tonnes par jour/poste contre 15 tonnes aux Etats-Unis. Le niveau des rendements s'explique notamment par un retard technologique, d'investissement mais aussi de main d'œuvre. La part des salaires représente 50% du prix de la tonne jusqu'en 1946 puis 60% après. La conséquence directe est un charbon de 20% à 35% plus cher qu'en Allemagne et en Angleterre. De nos jours plus de 85% du charbon est consommé dans le pays de production notamment à cause de ces coûts de transports importants. Toutes ces caractéristiques de la filière vont pousser la France à trouver une alternative à sa production d'énergie primaire.

## 2. Les impacts sur l'industrie

Depuis les quelques pages, nous n'avons eu de cesse que d'employer le terme "énergie". Vous avez pu lire de ma part que ce mot était à l'origine de notre développement. Il l'est, mais à vrai dire pas seulement que du nôtre. En physique, l'énergie permet le passage de la matière d'un état statique à celui en mouvement.

Ce sens est parfaitement retranscrit dans son étymologie. En grec ancien, ἐνέργεια signifie "force en action". Ainsi tout regroupement d'éléments quels qu'ils soient, en formant un système, a besoin d'énergie pour se déplacer ou se développer. Un organisme vivant est un système qui par essence a besoin d'énergie pour vivre. L'humain a poussé plus loin son utilisation. L'énergie ne nous a pas seulement permis de survivre et de nous développer. Elle nous a permis de créer.

Nous avons toujours utilisé une source d'énergie afin de confectionner un objet. Qu'elles soient issues de notre activité musculaire, d'une source de chaleur ou bien de systèmes plus sophistiqués. On estime que l'Homo habilis est le premier à avoir utilisé ce que l'on dénomme "outil". C'est-à-dire un objet qui permet d'en confectionner d'autres. On parle d'outil primaire lorsque celui-ci provient de la nature sans une nette modification. C'est le cas d'une simple pierre. On a ensuite l'outil secondaire confectionné avec l'aide de la pierre. Le couteau de silex en est un. Par la suite, on aura la création d'outils composites tels que l'arc. Le feu permettra la confection d'outils plus résistants (pointe en bois chauffé) mais aussi de récipients. On observe les premières céramiques aux alentours des - 6000 av.JC. Sa maîtrise permettra la création de four atteignant des températures dépassant les 1000°C. Ce seuil n'est pas anodin car il permet d'atteindre les températures de fusion du cuivre. On vit l'apparition d'un nouveau type de création par la métallurgie, avec la création d'outils plus solides et plus diversifiés. Derrière l'idée de la création d'objet vient la notion de technique. Ce mot provient du Grec Ancien (τέχνη, technè) qui signifie "savoir-faire". La création d'un objet ,dit technique, demande un savoir-faire à sa conception mais aussi à son usage. L'objet devient un stylo que dans la mesure où la personne connaît la technique permettant à celui-ci de répondre à sa cause finale. C'est-à-dire ce pourquoi il a été créé d'après Aristote. La technique résulte d'un processus d'apprentissage et de transmission d'un savoir. La traduction en latin de τέχνη (technique), s'écrit "ars", ce qui donnera naissance au mot artisan. Ainsi, l'artisan est celui qui possède le savoir-faire quant à la confection d'un objet technique. L'artisanat est souvent caractérisé par une structure productive de petite taille. Avec les phénomènes d'urbanisation, dès le VII siècles av.JC, les artisans sont regroupés en corporation en fonction du savoir-faire [Michel Archesnay, 2007 : 55-68]. Au début de la renaissance, le système productif d'un maître artisan se compose des instruments, essentiels à la production, ainsi que d'un ou deux apprentis. Vers la fin du XVII siècle, on observe la création d'ateliers regroupant un

grand nombre de travailleurs. Le travail est toujours considéré comme étant artisanal puisqu'il nécessite toujours un savoir-faire, une technique. L'industrie va quant à elle s'appuyer sur un système productif principalement technologique. On peut définir la technologie comme étant un système complexe car nécessite plusieurs techniques afin de répondre à un besoin. C'est notamment le cas des machines qui remplaceront progressivement le travail manuel.

La proto-industrie se concentre principalement dans les grandes villes. On parle alors de proto-industrie [Michel Archesnay, 2007 : 55-68]. Cette notion a été créée par Franklin Mendels dans un article paru en 1972. Bien que le mot choisi fasse débat chez les historiens, il met tout de même en lumière une situation intermédiaire entre la production artisanale et l'industrielle. Au début du XVIII<sup>e</sup> siècles, les ateliers sont équipés de machines afin d'assister la production. Le fonctionnement mécanique des systèmes tire son énergie principalement de la force animale et humaine.

Lors de la partie précédente, nous avons pu voir que le développement de l'exploitation du charbon s'est fait conjointement avec celui de la machine à vapeur. La pompe à feu n'est capable de réaliser qu'un simple mouvement avec une efficacité très relative (1% de rendement énergétique). Les ateliers n'ont donc pas de réel intérêt à son installation. Cela s'explique par des investissements et des coûts de maintenance élevés. La situation économique et énergétique de la Grande Bretagne poussera l'utilisation du charbon en tant qu'énergie primaire afin de produire une source de chaleur importante en remplacement de celle du bois. On vit le développement de réelles industries dans le domaine de production du verre et des métaux. L'extraction du charbon va alors devenir un pilier du développement industriel Britannique. En 1816, on observe qu'un quart de la consommation de charbon est destiné à l'industrie. Par la suite, les perfectionnements de la machine à vapeur menés par James Watt la rendent adaptable aux usages industriels [Daumalin, Daviet, Mioche, 2004, 53-73]. En effet, l'énergie produite par la combustion du charbon sera transformée en une seconde dite mécanique. En-dehors, de son utilisation dans l'extraction de la ressource carbonifère, cette énergie mécanique sera principalement utilisée dans le développement du train à vapeur. Notamment à partir de l'inauguration par Richard Trevithick de la première locomotive en 1804 en Angleterre. Il en suivra de nombreuses autres dont une France en 1827. En 1829, le

train peut atteindre la vitesse de 56 km/h. Bien que cela puisse nous sembler peu, il faut en moyenne 24h au 19<sup>ème</sup> siècle pour réaliser le trajet Paris-Caen. Tandis que seulement 5h18 suffirent en 1870 afin de réaliser le même parcours [Christophe Studeny, 2005]. Le transport du charbon se faisait principalement par voie fluviale. Le développement du train à vapeur, facilitera le transport du charbon d'un point d'extraction à celui de consommation. Cette première ligne construite en 1827 en France était une concession pour le transport de marchandises dont majoritairement du charbon. Il deviendra dès lors intéressant d'exploiter des mines considérées jusqu'ici trop éloignées des centres urbains. L'utilisation d'énergie fossile a permis une compression du temps et des espaces [Timothy Mitchell, 2011 : 27].

Au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle, la technologie à vapeur se développe à travers l'Europe. Malgré cela, son utilisation industrielle est loin d'être généralisée. En 1873, une crise économique ralentit l'économie mondiale. Une période de déflation se généralise avec une perte de profit de 6% au RU, de 7% en Allemagne et de 18% en France. Ces pertes de profits s'expliquent par une baisse des prix. Ainsi, les salaires deviennent le principal facteur de coût de production. Au Royaume-Uni, l'effet de la crise provoque un effondrement des investissements étrangers passant de 10% à moins de 2%. Le corollaire de cette baisse va se faire ressentir par une hausse des investissements intérieurs [Robert Boyer, Jean-François Vidal, 2018]. C'est durant cette période de dépression entre 1873-1896 que les industriels vont investir dans la machine à vapeur comme appareil de production d'énergie mécanique. L'importance des coûts salariaux et la hausse des investissements intérieurs ont rendu l'investissement dans le système productif plus intéressant. Il faudra cependant attendre plus longtemps pour que la machine à vapeur soit le moteur principal de l'industrie française. L'une des raisons est que la crise a eu un impact plus important (-18% profit) que chez ses voisins industrialisés. Cette déflation a pris plus de temps à se réguler notamment dû à une rigidité des salaires. Cela s'explique notamment par une syndicalisation plus forte en France qu'au Royaume-Uni ou qu'en Allemagne. De plus, la structure du marché de l'emploi a joué un rôle sans doute important dans la rigidité des salaires. A cette époque, la France est un pays où l'agriculture reste l'activité principale de l'économie. Lors de crise industrielle, le marché du travail agricole sert de refuge ce qui limite à la fois le chômage mais aussi la baisse des salaires [Robert Boyer, Jean-François Vidal, 2018].

Lors de la partie précédente, nous avons pu voir que la production du charbon en France connaît des difficultés de compétitivité en 1913. Une grande partie du charbon est importée ce qui rend la ressource plus chère pour les industriels en France qu'en RU ou bien en Allemagne. Ainsi, il faudra attendre 1920 pour que la machine à vapeur soit réellement le fer de lance de l'industrie. A cette période, la production industrielle devient le principal secteur économique en France.

Le charbon par l'intermédiaire de la machine à vapeur a permis l'avènement de ce que nous appelons de nos jours "la révolution industrielle". Les historiens et les économistes ne sont pas unanimes sur l'importance que le charbon a joué. Toutefois, une étude montre que 60 % de la croissance urbaine en Europe entre 1750 et 1900, peut-être attribuée au développement des technologies utilisant le charbon comme source d'énergie [Alan Fernihough, Kevin Hjortshøj O'Rourke (2014), Coal and the industrial revolution]. Précédemment, nous avons pu nous apercevoir que le besoin et la présence d'une ressource énergétique ont favorisé le développement de l'extraction du charbon. La synergie entre la création technologique et l'exploitation charbonnière a permis l'émergence de réelles innovations. Elles se sont diffusées progressivement en Europe. La machine à vapeur a permis la mise place d'un nouveau système productif "l'industrie".

### 3. Les impacts sociétaux

La structure sociale au XVII<sup>e</sup> siècle, est marquée par un tournant en Europe. Durant ce siècle la France est une monarchie où le souverain à tous les pouvoirs. Louis XIV règne de 1643 à 1715 comme monarque absolu dont le pouvoir est conféré par Dieu en personne. Ce modèle de société prédomine en Europe à l'exception d'un pays, l'Angleterre. En 1649, le Royaume est touché par sa première révolution qui s'oppose à la monarchie absolue. Il faudra attendre 1689 avec la déclaration des droits, pour que la monarchie parlementaire s'installe réellement. Le parlement est chargé du volet législatif. Le citoyen se voit alors reconnaître des droits et en tant qu'électeur peut voter. Toutefois, ce sont bien les élites qui sont majoritairement représentées. Cela s'explique notamment par le fait que le droit de vote est lié à la possession de terre. Le modèle anglo-saxon représente une réelle différence au 17<sup>e</sup> siècle avec celui du reste de l'Europe dont la France. Le citoyen

britannique est plus libre et plus de droits lui sont accordés. En Grande-Bretagne, le propriétaire d'un terrain peut jouir pleinement des ressources ci-trouvant à l'exception de l'or et de l'argent. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, ce droit permettra pleinement à la noblesse ainsi qu'à la bourgeoisie d'acheter des terrains afin d'y exploiter les ressources carbonifères. L'accumulation importante de capitaux et de revenu permit de développer les investissements dans l'exploitation minière et l'industrie manufacturières [Daumalin, Daviet, Mioche,2004,53-73]. Le droit Français n'accorde pas l'exploitation de la ressource minière sans ordonnance royale durant le XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècle. En 1791, le droit n'est plus accordé et reste le seul domaine de l'État. Le modèle capitaliste Anglo-saxon favorisa le développement de l'exploitation du charbon. Ceci explique en partie les retards d'investissements réalisés dans l'extraction du charbon en France.

Le développement des énergies fossiles a eu des impacts majeurs sur la société. Avant l'ère Industrielle, il était primordial d'être proche des sources d'énergies pour vivre. Il fallait être donc près des rivières, forêts et de terres agricoles. L'activité économique principale des pays reposait sur le secteur de l'agriculture. Cela explique notamment la dispersion des populations sur les territoires. L'utilisation du charbon comme source principale d'énergie a permis de réduire cette contrainte spatiale. On a pu voir lors des deux sous parties précédentes, une asymétrie dans les changements énergétiques et économiques entre les pays. Des facteurs tels que l'accès aux ressources, la démographie mais aussi la topologie du territoire, vont avoir des impacts sur le développement d'un pays. Une fois de plus, c'est bien l'Angleterre qui connaîtra en premier ce phénomène d'exode rural à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Ce mouvement de population vers les villes sera facilité par le développement de l'industrie notamment manufacturière. On estime en 1867 que les ouvriers dit "non-agricole" représentent près de 70% de la population [Fabrice Bensimon, 2013 : 647-687]. La situation économique et énergétique française étant différente, il faudra attendre le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle pour observer cette bascule. Cette diminution de la production agricole au profit de l'industrie, sera l'un des moteurs de la colonisation européenne. Les colonies ont donc permis aux pays européens de se fournir en matière première. Les importations se composaient principalement de soie, de sucre ainsi que de minerais. Ces productions agricoles demandent de grandes quantités d'espace et de main d'œuvre afin d'être produites [Timothy Mitchell, 2011 : 29]. De



plus, le développement technologique de la machine à vapeur creusa un fossé technologique entre les pays la maîtrisant et le reste du monde. Cela permit de renforcer la domination européen sur les colonies.

Durant l'Antiquité, nous avons vu que les artisans d'un même savoir-faire se rassemblaient dans de mêmes quartiers. Ils y formaient des corporations afin de défendre leurs intérêts. On retrouve déjà, à cette époque, ce que l'on appelle « un environnement sociotechnique ». On peut définir par la, un système regroupant des acteurs dont les relations sociales, culturelles et économiques sont liées par une technique. A partir du XVIII et XIX siècle, ce n'est plus simplement la technique qui liera l'ensemble des relations mais bien une technologie, la machine à vapeur. Dans les parties précédentes nous avons pu nous rendre compte de l'importance de celle-ci dans le développement économique et technologique des sociétés occidentales. Entre le XVIII et le XIX siècle, cette technologie est devenue incontournable que ce soit pour l'industrie, la mobilité humaine et matériel. Il est devenu impossible de dissocier développement technologique, économique et extraction de la ressource énergétique. La machine à vapeur a permis la concentration des populations autour des zones industrielles. Comme on a pu le voir lors du paragraphe précédent, nous sommes passés d'un modèle de production artisanale à industrielle. Ce changement induit l'utilisation d'une main-d'œuvre plus fortement concentrée. On vît ainsi apparaître comme par le passé, des corporations représentant une nouvelle classe dite ouvrière. Les relations étroites entre les différents acteurs créa autour du charbon ce que l'on peut appeler un "nœud énergétique"[Timothy Mitchell, 2011]. Le charbon étant devenu incontournable, son extraction est une nécessité. Les corporations de mineurs l'ont bien compris, sans eux l'économie du pays est fortement impactée. Un rapport de force a pu alors s'installer entre la nouvelle classe ouvrière et la bourgeoisie.

En Angleterre, la politisation des syndicats de mineurs se fit après la révolution française de 1789. Ces formations syndicales sont considérées comme illégales à partir 1799 avec le "Combination Acts". On voit alors les premières échauffourées entre les dirigeants et les ouvriers. En 1821 dans le Shropshire (centre-ouest du RU), éclate une rébellion des mineurs après une baisse de leur salaire. L'état fit intervenir la cavalerie afin de disperser pas moins de 3 000 ouvriers [Daumalin, Daviet, Mioche,2004,53-73]. En 1824, le Combination Acts est abrogé mais il faudra

attendre 1858 avant de voir la création d'un syndicat dans la durée. Les mineurs obtiennent en 1860 d'élire leur propre superviseur. Il sera renforcé dans sa position en ne pouvant être viré par les dirigeants d'exploitation minière. Bien que puissant, les syndicats ont besoin d'appui au sein du parlement Anglais pour appuyer les réformes. Ce ne sera plus le cas vers la fin des années 1880. Le rapport de force est tel qu'en 1893, après l'annonce d'une grève nationale, le Premier Ministre Britannique intervient en faveur des mineurs.

En France, la première grève d'ampleur a lieu en 1884 dans la compagnie d'Anzin, la plus importante exploitation de l'hexagone. Elle intervient afin de lutter contre des conditions de travail difficiles et des salaires considérés trop faibles. La grève fût réprimée par l'État. S'ensuivent des réformes importantes du droit social en 1892 et 1894 avec un système d'assurance maladie. A la fin de la seconde guerre mondiale, le pouvoir des syndicats permet l'obtention de la journée de 8h en 1919.

On observait ces mouvements de grèves se développer dans les pays extracteur de charbon comme en Allemagne en 1889. Les européens ont construit de grands canaux de distribution permettant le transport du charbon par voie fluviale et ferroviaire. Au début du XX siècle, la concentration des flux est telle qu'il en devient plus facile le blocage par les ouvriers.

Plus généralement, le passage à un système productif industriel a permis l'obtention d'acquis sociaux. La concentration de la main-d'œuvre et des ressources énergétiques a permis la création de réelles forces d'opposition. La preuve en est qu'en 1911, l'Angleterre entière est bloquée après une grève de la majorité des industries. D'après Timothy Mitchell, on pourrait observer une corrélation entre le développement de la filière du charbon ainsi que du fer et la présence de démocratie [Timothy Mitchell, 2011].

## B. L'ère du pétrole

### 1. Exploitation de la ressource

Le pétrole a des origines bien similaires à celui du charbon. Il tire son essence d'une couche sédimentaire provenant des organismes du passé, il y a 100 à 200 millions d'années. Une partie de cette couche est composée de kérogène issu de l'arrêt de sédimentation en l'absence d'oxygène. Les mouvements des plaques tectoniques vont alors permettre son enfouissement. Due à une augmentation de la température issue de la pression, ce kérogène va se décomposer. Pour cela, la couche sédimentaire doit atteindre les 1 000 mètres de profondeur. Cette décomposition, appelée pyrolyse, va permettre la création du pétrole. Le pic de production se réalise à partir des 2 500 mètres et devient résiduel autour des 4 000 et 5 000 mètres [Demirdjian, 2005 :1-5]. De part sa densité (80% à 90% de celle de l'eau), le pétrole peut remonter à travers les roches poreuses. Lorsque que ces roches sont surmontées d'une couche imperméable, il est alors confiné sous forme de nappe. Dans le cas d'un absence de couche imperméable, il peut alors atteindre la surface.

Il est complexe de définir le moment précis à partir duquel le pétrole a été découvert. On peut toutefois retrouver des mentions de son utilisation à travers les siècles. Il aurait été utilisé en Mésopotamie, en servant comme mortier dans certaines constructions. Il servait aussi à recouvrir les coques de bateaux ou de tonneaux afin d'en assurer l'étanchéité. On retrouvera son utilisation au moyen-âge à travers le feu grégeois comme engin incendiaire ou bien pour la lampe à l'huile. Le pétrole était uniquement récupéré en surface. Le XVIII siècle sera le premier tournant dans l'extraction de celui-ci. Les occidentaux importent de Chine, une technique de forage du sol afin de récupérer le sel en profondeur. Cette technique fût utilisée par un exploitant aux Etats-Unis. Par hasard des gisements de pétrole ont été découverts lors de l'extraction. Ce fût notamment le cas pour Samuel Kier en 1847. Il décida alors de développer des distilleries afin de produire des huiles. La date du premier puits de forage pour l'extraction du pétrole ne fait pas l'unanimité. En 1846, les russes auraient développé un puit à percussion en Azerbaïdjan. Le mécanisme de

percussion était alimenté par une dizaine de personnes. L'histoire retiendra souvent celle d'Edwin Drake en 1859 à Titusville aux Etats-Unis. La méthodologie du forage est sensiblement la même. Ils firent tomber une lourde pièce de métal à répétition à l'aide d'un moteur à vapeur [Auzanneau, 2021 : 30-33]. L'extraction du pétrole rime avec celle de l'exploration afin de déterminer la potentielle présence d'une poche. Au XIX siècle, ce sont les géologues qui seront le fer de lance de l'exploration. En fonction des conditions géologiques et d'analyses terrains, des tests de forage étaient réalisés. Au cours du XX siècles, les méthodes ont évolué. On émet des ondes sonores dont la réflexion en fonction du milieu (solide ou liquide) donnait des indications sur la présence de pétrole. Par la suite d'autres outils permettent l'analyse des sols comme l'imagerie thermique, modélisation géologique ou par électromagnétisme.

Pour l'extraction de cette précieuse ressource, tout va rapidement s'accélérer. On passe entre 1861 et 1880, d'une production de 61 000 tonnes de pétrole à 4 millions. En 1900, la production mondiale d'or noir atteint les 25 millions de tonnes puis 53 millions dix ans plus tard [Jean-Marie Martin-Amouroux, 2015]. Les techniques de forage ont évolué au cours des décennies. Tout d'abord, nous sommes passés d'un système de percussion à celui de forage rotatif à partir de 1902. Ainsi une tour d'une trentaine de mètres va être installée au-dessus de la poche d'hydrocarbure. On appelle cela un « Derrick ». Elle va permettre d'ajouter des tiges de forage au fur et à mesure qu'une mâchoire en acier (trépan) broie la pierre. Une fois la poche atteinte, le pétrole peut alors jaillir sous l'effet de la pression. Par la suite, on place une pompe à la place du derrick qui va permettre de récupérer le reste de pétrole. De par ses caractéristiques physiques, le pétrole est une ressource facilement transportable d'un point de production à l'usine de raffinage. Étant liquide à température et pression atmosphérique, il est alors acheminé via de long tuyaux que l'on appelle pipelines. La première fût installée en 1865 sur une longueur de 6km en Pennsylvanie. De nos jours, il est difficile d'établir le nombre et les positions exactes de ces pipelines. Ces informations ne sont pas toujours divulguées pour des raisons stratégiques. Le transport du pétrole se fait aussi par bateau que nous appelons de nos jours « Tanker ». Durant le XIX siècle, les bateaux transportent le pétrole par baril afin de limiter les risques d'incendies. Il faudra attendre le XX siècle pour voir arriver les bateaux en acier permettant un stockage vrac du pétrole. En 2013, le transport sur pétrole par voie maritime représentait 30% du trafic.

Assez rapidement, il est envisagé par les compagnies pétrolières le développement de plateforme en mer dite offshore. Dès 1886, on observe les premiers forages sur les littoraux notamment en Californie. Il faudra attendre 1911 pour voir l'apparition de la première plate-forme pétrolière au milieu d'un lac en Louisiane. La synergie entre le développement technique de l'extraction et la hausse de la demande rendra intéressant de telle extraction, malgré l'investissement important que cela nécessite. Ainsi en 1930, la première plateforme pétrolière Offshore au large de la Louisiane. Le pétrole y a été extrait à une profondeur de 2 700 mètres. Les puits sont généralement forés jusqu'à des profondeurs comprises entre 2 000 à 4 000 mètres. Toutefois, certains peuvent atteindre les 12 km de profondeur en Russie.

Lors de la partie sur le charbon, nous avons pu nous rendre compte que les pays européens et les Etats-Unis ont acquis une avance technologique importante sur le reste du monde. Le développement économique de ces pays est étroitement lié à l'accessibilité d'une énergie en grande quantité et à coût le plus faible possible. L'industrie a alors permis l'agrandissement des colonies afin d'importer la matière première essentielle pour la production. Ainsi, ces états ont grandement profité d'une présence abondante du charbon sur leur sol pour se développer. Toutefois, pour le pétrole son ère débute principalement aux Etats-Unis et dans la région du Caucase au milieu du XIX siècle. Notamment car sa présence y est abondante. Les Etats-unis est un pays vaste soit 18 fois la superficie de la France. Ses terres sont abondantes de charbon ce qui facilitera son industrialisation. De ce fait, ils acquièrent alors un avantage majeur sur l'exploitation du pétrole. On y verra naître ce qui deviendra la 1ère compagnie pétrolière, la « Standard Oil Company ». John D. Rockefeller débuta son activité par la création d'une raffinerie en 1866. Il conclut en 1868 un accord avec l'un des principaux dirigeants d'entreprise du monde ferroviaire. J. Rockefeller obtient un rabais de 75% sur le transport de son pétrole en échange de financement. En 1870, la Standard Oil Company est fondée. L'entreprise possède déjà 10% du marché du raffinage et un avantage imbattable sur le transport de sa ressource [Auzanneau, 2021 : 40-43]. Si la compagnie a obtenu un monopole sur le marché des Etats-Unis et européens, ce n'est pas sans avoir bénéficié du développement de la machine à vapeur.

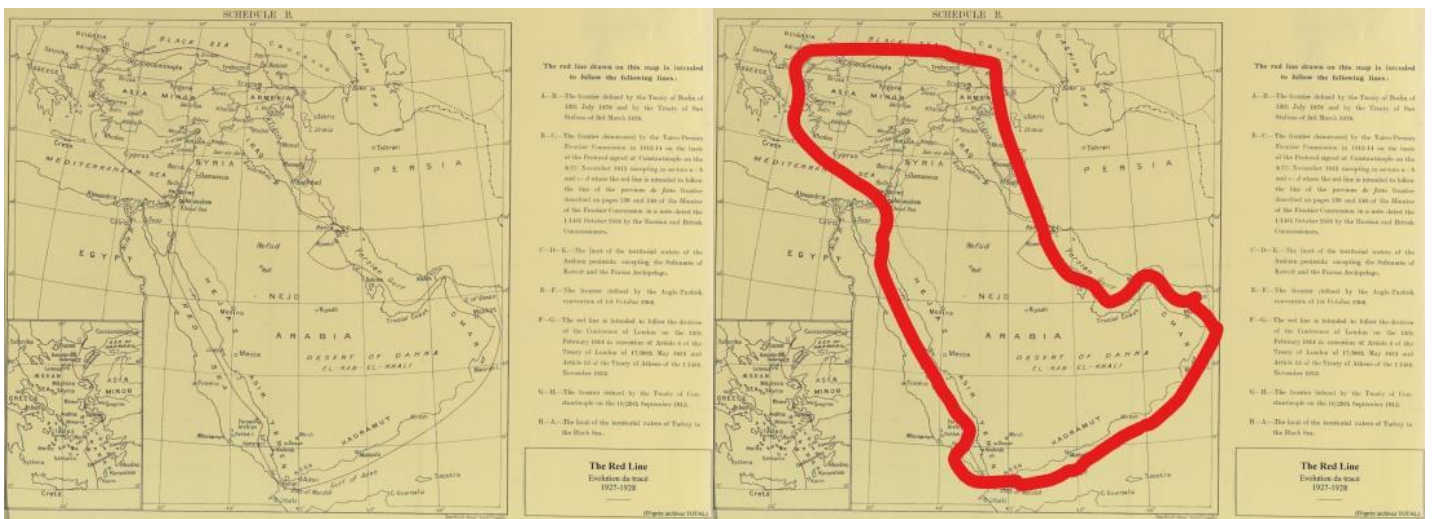
Les grandes compagnies pétrolière que nous connaissons aujourd'hui sont toujours liées de près avec de grandes Banques. Elles sont même souvent à l'origine de la création de ces empires. L'une des raisons à cela est que l'extraction pétrolière

demande une forte mobilisation capitaliste. Il est intéressant pour une entreprise d'à la fois extraire, acheminer et raffiner son produit. Pour cela il faut investir des montants importants dans les infrastructures. En 2021, les 25 plus grandes banques ont investi pas moins de 55 milliards de dollars dans des projets pétroliers. Jusque dans les 1890, la Standard Oil n'a pas de réel concurrent. Toutefois, la célèbre famille de banquier Rothschild, souhaite investir dans l'or noir. Ils vont s'associer avec un entrepreneur présent sur le marché de l'Asie afin d'éviter la concurrence de la Standard. C'est ainsi qu'est créée en 1897, ce qui deviendra la première entreprise pétrolière européenne, la Shell. Après une tentative échouée de collaboration entre la Standard et la Shell, l'entreprise britannique se tourne vers la Royal Dutch Petroleum Company. La compagnie néerlandaise et la Shell Company fusionnent en 1907 pour devenir la Royal Dutch Shell. L'entreprise investira fortement dans le développement du pétrole en Roumanie. Cette fusion permet à la Dutch Shell de devenir l'acteur majoritaire en Europe avec 80% du marché [Auzanneau, 2021 : 83-95]. Les fusions et acquisitions sont monnaie courante dans ce milieu. Elles permettent aux compagnies pétrolières d'assurer leur part de marché mais aussi d'en cibler de nouveaux. En 1914, l'empire de Rockefeller est dissous par la Federal Trade Commission aux Etats-Unis. La Standard Oil est démantelée en 34 filiales indépendantes. Toutefois deux des entreprises descendantes sont aujourd'hui parmi les plus importantes compagnies mondiales. Exxon Mobile se positionne première et Chevron Corporation à la quatrième place. L'industrie du pétrole a forgé de puissantes entreprises. L'aspect stratégique de la ressource a créé des liens étroits entre les Etats, les Banques et les compagnies pétrolières. Afin de s'assurer des approvisionnements en ressources, on observe que chaque pays tente de développer sa compagnie pétrolière. La France est très dépendante des importations en ressources. Elle n'a pas de compagnie nationale. Il faudra attendre la première guerre mondiale pour voir la situation évoluer. Entre 1914 et 1918, nous nous retrouvons dans une situation complexe où les approvisionnements en pétrole sont insuffisants pour les besoins de l'armée. Georges Clémenceau, alors président du conseil, écrira une lettre au président des Etats-Unis W. Wilson. Son objectif est clair, demander davantage de ravitaillement en essence pour gagner la guerre. Les mots choisis, sont forts puisque celui-ci compare l'or noir au sang des soldats qui combattent. Le nombre d'hommes prêts à combattre ne suffit plus. A la sortie de la guerre, il devient évident de réduire cette dépendance. C'est ainsi qu'est créée en

1924, la Compagnie Française des Pétroles (CFP). Bien que l'enjeu soit stratégique pour la France, il sera choisi le statut d'entreprise privée en se calquant sur le modèle Anglo-saxon. Les principales banques françaises en sont bien entendu actionnaires. Elle est fondée par Ernest Mercier et étroitement liée avec le gouvernement. Celui-ci est en droit de nommer le directeur de son choix [Auzanneau, 2021 : 171]. Cette même année une école est créée à Strasbourg, "École nationale supérieure du pétrole et des combustibles liquides". Elle forme les futurs ingénieurs et géologues qui travailleront notamment pour la CFP dans l'exploration pétrolière. Les premières années de la compagnie sont dédiées à la recherche d'opportunités et l'obtention de droit d'extraction. Bien entendu, ses concurrents voient d'un mauvais œil son développement. Il faudra attendre 1924, pour voir la CFP réussir à obtenir sa première concession d'envergure. Elle obtient cette année 25% de la Turkish Petroleum Company au détriment de la Deutsche Bank [Auzanneau, 2021 : 169]. La CFP deviendra en 1985 l'entreprise que l'on connaît aujourd'hui sous le nom de Total puis Total energies.

L'exploitation de la ressource pétrolière se fait principalement aux États-Unis, en Roumanie et dans le caucase entre 1850 et 1910 [Timothy Mitchell, 2013]. A ce moment là peu de compagnies se partagent l'exploitation du pétrole. A la fin de la première guerre mondiale, la demande progresse et devient un enjeu majeur pour les grandes puissances occidentales. Contrairement aux États-Unis et à la Russie, les pays européens n'ont pas des territoires regorgeant de pétrole facile d'accès. En revanche, depuis le XVI<sup>e</sup> siècle, ils ont développé de nombreuses colonies à travers le globe. Celles-ci ont servi à produire la matière première dont les pays industrialisés se sont servis pour fabriquer des produits finis. Elles ont représenté un tout autre intérêt. Les Pays-bas à travers la Royal Dutch Company, exploiteront dès 1890, le pétrole présent dans ces colonies en Indes Orientales, l'actuelle Indonésie. Cependant, l'un des premiers bouleversements de l'exploration pétrolière se fera lors de la chute de l'empire ottoman. La région est vaste et les ressources en pétrole y sont nombreuses. Avant la première guerre mondiale, les compagnies pétrolières s'y étaient déjà intéressées. Seulement l'abondance de ressources dans la région représentait un risque de baisse du prix du pétrole. Elles ont donc essayé d'obtenir des concessions d'exploitation afin de bloquer les droits d'exploration par d'autres compagnies [Timothy Mitchell, 2013]. C'est dans ce but qu'est créé en 1914, une

clause stipulant que l'extraction du pétrole dans l'empire ottoman ne peut se faire sans une distribution de la richesse obtenue. Toutefois, à la fin de la première guerre mondiale l'empire est démantelé. Il sera partagé entre la France et l'Angleterre. A travers la Royal Dutch Shell, le Royaume-Uni récupère un vaste territoire abondant en ressources. Cette position de force va générer des tensions entre l'Angleterre, la France et les Etats-Unis. Ainsi en 1928, est signé un accord assurant que sur un territoire donné aucune exploration pétrolière ne sera faite sans l'accord des autres compagnies et états. L'Anglo-persian, la shell, la CFP et le consortium des compagnies américaines, se partagent chacun 23.5% de l'Irak Petroleum Company [Auzanneau, 2021 : 173]. Il est appelé "Accord de la Ligne rouge".



Carte représentant le territoire mentionné dans l'accord de la ligne Rouge (1928)

La domination de l'exploitation de la ressource pétrolière par les grandes puissances occidentales durera de 1920 jusqu'à 1960. Le marché pétrolier de ces années sera dominé par les "5 majors". On compte parmi les 5 compagnies Exxon Mobile, Shell, TotalEnergies, British Petroleum puis Chevron. A partir de 1960, le rapport de force change. La création de l'Organisation des pays exportateurs de Pétrole en septembre 1960 à Bagdad, se compose de 5 pays fondateurs que sont le Koweït, le Venezuela, l'Iran, l'Arabie Saoudite et l'Irak. L'objectif de ces pays est de stabiliser les prix du pétrole dont dépendante leur économie. Entre les années 70 et 80, ces pays ont le monopole de l'influence. La demande de pétrole brut continue de croître tandis que les réserves de pétrole conventionnel (méthode de forage traditionnel) sont



maintenant concentrées dans les pays de l'Opep. Les Etats-Unis en tant que premier producteur mondial atteint son pic en 1970. Seulement la demande ne fait que croître. Les importations des Etats-Unis augmentent en pétrole et avec elle le déficit de la balance commerciale. Ils ne peuvent répondre à la demande et donc contrôler le cours du pétrole. Les pays de l'OPEP y voient une opportunité. Dès 1971, des confrontations ont lieu entre les pays occidentaux et l'organisation des pays exportateurs des pétroles. L'objectif est simple: faire en sorte que l'OPEP respecte ses engagements initiaux envers les compagnies pétrolières. Toutefois, les Etats-Unis cèdent aux revendications dans la peur d'un embargo sur les importations de pétrole. Les risques d'impacts économiques et sociaux sont énormes. Le 14 février 1971 est signé l'accord de Téhéran, qui octroie une hausse de 30 centimes par baril [Auzanneau, 2021 : p. 458-465]. Ainsi les pays de l'OPEP vont avoir le contrôle de la production, des exportations et donc du prix du pétrole jusque dans les années 80. Dans les années 2000, les Etats-Unis mettent en place une technique de forage que l'on appelle non conventionnelle. On fore un trou à la verticale à l'aide de la même technique que par le passé. On ne recherche cette fois pas une nappe de pétrole mais plutôt la roche mère. Cette roche est dite poreuse donc contient la ressource. Ainsi pour la libérer, est envoyé un mélange d'eau et de produit chimique afin de la fissurer. Cela permet d'extraire le pétrole par la suite. Le développement de cette méthode n'est pas anodine puisqu'elle permet d'atteindre de nouveau foyer de ressource jusque-là encore inexploité. Les Etats-Unis vont donc l'utiliser afin de limiter une fois de plus leur importation et limiter l'influence de l'OPEP. Il est intéressant d'étudier l'histoire de l'exploitation pétrolière pour se rendre compte qu'elle est indissociable d'enjeux stratégiques et de souveraineté.

## 2. Les impacts sur l'industrie

Le pétrole est un extraordinaire facteur de développement. L'une des raisons à cela, est relative à sa diversité en composition ainsi qu'en caractéristiques. On peut

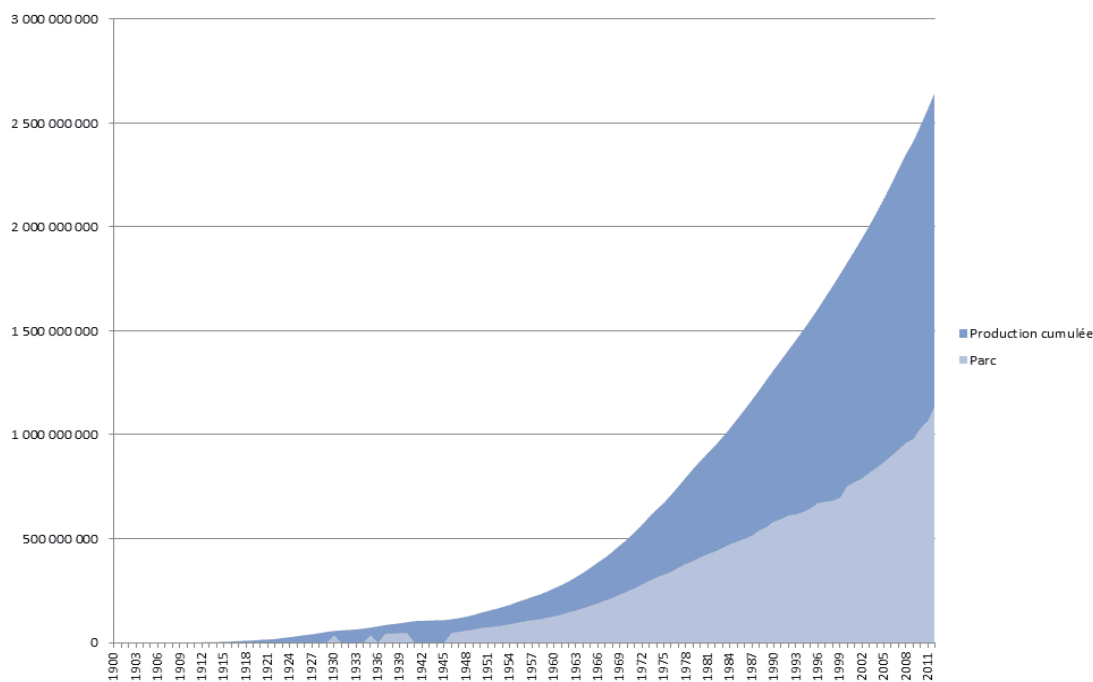
observer principalement trois types de pétrole. Celui dît « Paraffiniques », dont la composition moléculaire va permettre le développement après raffinage de cire, lubrifiant et de carburants. Il y a le pétrole dît « Naphténiques », principalement composé d'hydrocarbure. On va s'en servir dans les mêmes carburants que le précédent mais aussi pour réaliser des solvants. Pour finir, nous avons le pétrole «Aromatiques ». Il va servir dans l'industrie chimique principalement pour la création de matière plastique, solvants mais aussi pour les arômes artificiels. Nous verrons par la suite l'intérêt de la polyvalence de cette ressource [Demirdjian, 2005 :1-5].

La révolution industrielle connaîtra un coup d'accélérateur au milieu du XIX siècle. La machine à vapeur est une technologie mécanique reposant ainsi sur des contacts entre différents éléments. Ces points de contacts rendent la machine moins performante à cause des frottements que cela occasionne. Cela la rend plus sensible à l'usure prématurée de certaines pièces. L'usage du pétrole va devenir alors essentiel pour la mécanisation de l'industrie. On se rend vite compte de son potentiel puisque les raffineries vont rapidement se multiplier. Le procédé est alors simple, c'est une distillation. On chauffe le pétrole brut dans une cuve à pression atmosphérique. En fonction de l'évolution de la température, les éléments les plus légers comme le gaz s'évaporent. Les autres seront répartis par couche en fonction de leur densité. On va retrouver des essences légères, essence lourde, du kérosène, gazole, du fioul puis pour finir des huiles et bitumes. Ce sont ces huiles qui seront alors utilisé comme lubrifiant pour les machines et plus spécifiquement celle à vapeur. Entre 1850 et 1875, la puissance des moteurs à vapeur va quadrupler aux Etats-Unis et en Angleterre [Auzanneau, 2021 : 63]. Cela permettra à la fois un meilleur rendement énergétique entre l'énergie thermique et mécanique, mais aussi économique. Les machines sont alors plus intéressantes afin de remplacer les attelages. Elles sont alors moins gourmandes en ressource, plus efficaces et demandent moins de maintenance que par le passé. Ces gains se feront énormément ressentir sur le raccourcissement du temps de trajet en train. Depuis Paris, il fallait en 1840 réaliser 36h de train pour atteindre Lyon, tandis qu'en 1890 ce même temps est réalisé pour rejoindre Rome [Christophe Studeny (2005), p 112-128]. Aux Etats-Unis, la production de lubrifiant et de graisse passe de 35 000 à 5 millions de barils entre 1865 et 1900.

Au début du XX siècle, le pétrole devient plus qu'une source d'énergie pour la lampe à l'huile ou bien pour servir de lubrifiant. Le fioul sera rapidement utilisé comme

moyen de production de chaleur dès 1900 aux Etats-Unis et 20 ans plus tard en France. De par ses caractéristiques de combustion, il offre une production supérieure d'énergie pour un même volume de charbon. Le fioul sera alors utilisé dans de nombreuses industries en complément du charbon ou même parfois en remplacement.

Depuis le XVII<sup>e</sup> siècle, des inventeurs tentent de créer un moteur à combustion interne. Certains imagineront un fonctionnement à la poudre à canon, tandis que d'autres utiliseront la vapeur afin de faire rouler une calèche. Entre 1828 et 1851, ce sont les moteurs électriques qui se multiplient dans leur invention. Son utilisation est encore très limitée. Des moteurs à gaz voient aussi le jour en 1860, toutefois leurs rendements sont insuffisants. C'est en France qu'est inventée les premières esquisses du moteur thermique. Un brevet est déposé en 1861 par Alphonse Beau de Rochas pour le moteur à 4 temps. Son fonctionnement reposerait en 4 étapes. La première phase est celle d'admission d'un combustible puis une phase de compression de celui-ci. S'ensuit une combustion par l'allumage du combustible pour finir par un échappement des émissions. A cette époque, il ne manque qu'une chose mais pourtant essentiel, le carburant. Ces inventions sont guidées par une volonté de permettre à l'humain de se déplacer. C'est en 1886 qu'est déposé le premier brevet, par Karl Friedrich Benz, d'une automobile à combustion interne fonctionnant à l'essence. Les premières automobiles seront produites. Elles seront toutefois chères et demandent un entretien important. Une personne fera passer l'automobile dans une nouvelle ère, son nom est Henry Ford. Il est ingénieur mécanicien diplômé dans l'État du Michigan aux Etats-Unis. Il se lance dans la conception de sa première automobile en 1896. Après un début compliqué, Henry Ford et un associé fondent l'entreprise Ford & Malcomson. En 1908, la Ford modèle T est mise sur le marché. Ce modèle se veut alors le plus accessible possible ce qui lui permettra de signer un succès commercial retentissant. Entre 1908 et 1927, ce sont pas moins de 16,5 millions de voitures vendues. L'industrie automobile va connaître une ère d'expansion avec son développement sur le marché Européens puis mondiale. L'évolution de la production de véhicules va devenir exponentielle à partir de 1970. Le cumul de la production et du parc de voitures déjà existantes atteint les 500 000 000 millions en 1970. Dix ans plus tard, ce cumul atteint le milliard puis double en 2003 [Organisation International des constructeurs automobiles].



© auto-forever.com - source : OICA

Le développement de l'industrie automobile s'est fait conjointement avec l'activité pétrolière. L'extraction en ressource n'a pu qu'augmenter afin de suivre la demande. De plus, une telle expansion d'un marché nécessite le développement d'infrastructures. Tout d'abord, pour répondre à la demande en essence et gazole, il a fallu mettre en place un réseau de distribution du carburant. On verra son apparition aux Etats-Unis entre 1900 et 1910. En Europe, il faudra attendre 1920 pour voir l'émergence d'un réseau de distribution. A cette époque, le carburant est soit vendu par des commerçants ou par des professionnels automobiles. Avec l'essor de l'industrie automobile, on voit l'apparition des premiers dépôts. Ils sont principalement sur les bords de routes fortement fréquentés. A partir de 1930, les compagnies pétrolières s'intéressent à la mise en place d'un réseau de distribution qui leur est propre. On voit ainsi émerger les premiers réseaux de stations service [Claire Heigel, 1999 ]. En 1970, on dénombre en France pas moins de 47 000 stations. Toutefois dès les années 80, elles vont rapidement diminuer en nombre. On en compte de nos jours près de 11 000 réparties sur le territoire. Cette diminution s'explique notamment par une concurrence accrue des grandes surfaces et des compagnies pétrolières. Le développement de l'automobile a nécessité la création d'infrastructures importantes telles que les autoroutes. La première route dédiée aux voitures est créée en 1914 aux Etats-Unis puis en 1920 en Europe chez nos voisins

Allemands. Cependant en France ces infrastructures font débats et leur développement sera retardé. Il faudra attendre les années 50 pour voir apparaître les premières portions d'autoroute.

Le pétrole a joué un rôle majeur dans le développement de la mobilité individuelle à travers l'automobile. Toutefois, il n'en est pas resté là. Comme on a pu le voir précédemment, ces caractéristiques physiques font de lui un combustible facilement transportable et hautement énergétique. Le monde maritime s'empara de cette source d'énergie dès le XIX siècle en Angleterre. A cette époque, les bateaux à vapeur utilisent le charbon afin de propulser leurs moteurs. Les premiers navires fonctionnant au fioul apparaissent entre 1860 et 1870. On remarque déjà les propriétés intéressantes de la substance. En effet, il permet une meilleure fluidité dans le passage de vitesse, le ravitaillement, mais permet également une meilleure discrétion. La houille dégage des fumées noires beaucoup plus épaisses que celle du fioul [Thomas Vaisset, 2022]. Ce détail ne manque pas d'intérêt puisque que c'est bien la marine Anglaise qui en fera son cheval de bataille. A partir des années 1890, les grandes puissances étudient l'utilisation de navires propulsés au pétrole (fioul, essence etc..). La Royal Navy et la marine Étasunienne décident de miser dessus pour le développement de leurs flotte navale. En 1910, ces deux pays possèdent dès à présent des destroyers et sous-marins fonctionnant au pétrole [Auzanneau, 2021 : 125-126]. La France prendra du retard sur le développement d'une telle flotte malgré le fait qu'elle ait connaissance des ses avantages technologiques. Contrairement aux deux autres pays, elle ne possède pas un réseau d'approvisionnement en pétrole suffisamment important et sécurisé. La France est trop dépendante d'importation et choisit donc de rester sur le charbon. Une ressource présente sur son sol [Thomas Vaisset, 2022]. La première guerre mondiale sera l'un des révélateurs de l'importance du pétrole pour l'indépendance de la France. Cette guerre est caractérisée par l'utilisation de tranchés dont l'objectif étant de faire avancer ses lignes. L'un des facteurs essentiel de l'avancé des troupes sera le char d'assaut. Il est imaginé par l'armée anglaise et commandé par l'armée française dès 1916. Le char Mark I fera son apparition cette même année lors de la bataille de la Somme [Auzanneau, 2021 : 132]. On vit aussi l'utilisation des premiers avions mitrailleurs donc le moteur était alimenté en essence et en gaz. A partir de 1940, l'aviation passe au moteur à réaction dont le fonctionnement repose sur la combustion de kérosène.

Ces technologies seront améliorées et développées. Ils serviront plus tard dans le plus grand conflit armée, la seconde guerre mondiale.

A la suite de celle-ci, le monde va connaître une période faste de développement économique et industriel. La délocalisation des moyens de production vers les pays émergents, permettra du transport maritime vers les pays occidentaux. Le trafic va passer de 550 millions de tonnes en 1950 à 10 milliards de nos jours. C'est pas moins de 80% du commerce international qui transite par voie maritime [Antoine Frémont, 2019]. Avec cette croissance s'ensuit le développement en taille de ces porte-conteneurs ainsi que la consommation en fioul. Il en va de même pour le transport aérien. Il se décompose en deux catégories que sont le fret et le transport de passagers. Entre 1970 et 2019, le nombre de voyageurs est multiplié par 15 tandis que le volume de marchandises est multiplié par 14 sur la même période [Banque mondiale de données, 2020]. Le pétrole permit ainsi le développement des industries (tourisme, production industrielle, transport) de manière sans précédent dans l'histoire de l'humanité. Le transport de passagers via l'aviation a facilité le développement de l'industrie touristique avec 6% de la part du PIB mondial. Il est plus généralement le carburant moteur de l'internationalisation des échanges matériels et humains.

Le pétrole est un produit miraculeux tant par ses propriétés physiques que chimiques. On a pu voir au début de cette partie les différentes caractéristiques de celui-ci. Ainsi à partir du pétrole paraffiniques, naphthéniques et aromatiques, il est possible d'obtenir des molécules qui composent aujourd'hui 95% des produits manufacturés [European Chemical Industry, 2022]. Afin de fabriquer ces éléments chimiques, le pétrole va subir différents processus. En le chauffant à haute température en présence d'eau, on obtient un nouvel assemblage de molécules. On appelle cela le vapocraquage. Le deuxième processus est le reformage catalytique. Le pétrole est chauffé au-delà des 500°C puis par distillation on récupère différents composés chimiques. La pétrochimie va permettre la production de polymères (polyéthylène, le polypropylène et le polystyrène) qui sont essentiels dans la fabrication de plastique. Celui-ci va ensuite servir dans la production d'emballage, de meuble, tuyauterie, composant électronique et bien d'autres encore. Le pétrole peut aussi permettre la fabrication d'éléments chimiques sont à la base de la production

d'autres éléments chimiques tels que des résines, caoutchoucs, fibre textile, dans la peinture et les revêtements. Elle va aussi être présente dans l'élaboration de carburants. Cette liste n'est pas exhaustive mais permet de visualiser l'importance de la pétrochimie dans toutes les activités industrielles. Entre 1950 et 1970, cette industrie connaîtra des taux de croissance de l'ordre 15% par an. A cette même période, cette industrie est principalement localisée aux Etats-Unis, Europe ainsi qu'au Japon. En 1979, suite à une grande vague de délocalisation, près de 70% de la production se fait en dehors de ces pays [Jean-Marie Chevalier, 1980]. De nos jours, les rendements de l'activité pétrochimique en Europe sont stables depuis 2004. La tendance mondiale est, quant à elle, en hausse constante.

De manière plus générale, le pétrole est omniprésent dans toutes les industries. Il sert à la fois de moyen de production d'énergie mais aussi comme composant essentiel des produits manufacturés. Il a aussi permis une amélioration importante (triplé) des rendements agricoles entre 1950 et 1970. Lors de cette partie, nous n'avons eu une vision exhaustive des secteurs impactés par cette ressource. Il est toutefois important de noter que de nos jours, des secteurs d'activités majeurs comme l'alimentaire et pharmaceutique, en sont étroitement dépendants.

### 3. Les impacts sociétaux

Nous avons terminé cette même partie sur le charbon par la relation entre son développement comme ressource énergétique et la démocratie. La concentration des personnes a permis l'avènement d'un rapport de force plus équitable entre l'État et la population. L'un des facteurs importants était l'impact des arrêts d'extraction du charbon dans les mines. Par définition un environnement sociotechnique fonctionne par étroite relation entre les acteurs (ressources, main d'œuvre, technologie, industrie). Lorsqu'un nœud énergétique se crée, son sabotage aura un impact plus important sur l'environnement. L'extraction du pétrole présente un intérêt tout particulier sur cet aspect. En effet, celle-ci est moins dépendante de la

main-d'œuvre humaine que celle du charbon. Tout d'abord, les puits sont rapidement équipés de machine à vapeur afin de rendre le mécanisme autonome. Au début de son extraction, le train sera l'un des moyens de transport utilisé. Toutefois, les pipelines s'avèrent efficaces pour acheminer le pétrole vers les raffineries. Elles possèdent un avantage en comparaison avec le chemin de fer, celui d'être moins dépendant. Les États ont perçu cet intérêt dans l'objectif d'affaiblir les syndicats. Notamment car la fin du XIX et le début du XX sont des périodes de forte mobilisation des classes ouvrières [Timothy Mitchell, 2011]. L'extraction de la ressource est moins sujette aux grèves, seulement des éléments récents montrent que sur l'ensemble de la filière ce n'est pas forcément le cas. La grève des raffineries en France en 2022, a montré la vulnérabilité des approvisionnements en carburants. Il faut cependant nuancer l'importance du nœud énergétique que sont la raffinerie. En effet, le contexte géopolitique a fortement impacté les approvisionnements en ressources. Cela a eu pour impact le renforcement du pouvoir des syndicats dans le cadre de rapport de force. Ainsi le développement du pétrole dans les pays occidentaux aurait impacté les rapports de force entre les syndicats et l'Etat. Le pétrole a eu des impacts anti-démocratique importants sur les pays dans lesquels il était extrait en dehors de l'occident. Ce fût notamment le cas pour l'empire ottoman. Afin d'obtenir des contrats d'exclusivité d'extraction sur certains territoires, les compagnies pétrolières signent des contrats avec les Etats. En échange de ce droit, les pays pouvaient recevoir une rente liée à l'exploitation ainsi que le développement d'infrastructures. La construction de ligne de chemin de fer était souvent une condition à la signature. Toutefois, ces contrats ont principalement enrichi les souverains et dirigeants mis en place par les pays Européens dans ces pays. La dissolution de l'empire est un cas d'école. En 1920, à l'issue de la première guerre mondiale, les pays victorieux se partagent l'ancien empire. La France hérite du Liban et de la Syrie tandis que l'Angleterre récupère la Mésopotamie et la Palestine [Auzanneau, 2021 : 165]. Après d'importantes insurrection, le gouvernement britannique décide de créer un état, qui est aujourd'hui l'Irak. En 1921, Fayçal I est couronné souverain de l'Irak. En agissant de la sorte, les britanniques s'assurent une baisse des tensions progressives et l'accès à la ressource pétrolière. A l'origine du contrat, 20% des rentes devait être reversé aux populations, ce ne sera jamais mis en pratique. Ce cas-là n'est pas unique mais symptomatique d'une méthodologie appliquée à de nombreuses reprises par les pays occidentaux. Cela explique en



partie les situations politique et économique compliquées de certains pays du Moyen-Orient. De nombreux conflits y sont toujours observables et une grande instabilité y règne.

Le développement technologique permis par l'utilisation du pétrole comme carburant ou bien comme molécule chimique aura des impacts sociétaux majeurs au cours du XX siècle. Précédemment, nous avons pu voir que cette ressource a été fortement utilisée par les différents corps d'armées des pays européens. L'industrie de l'armement a grandement bénéficié du pétrole pour réaliser des progrès techniques importants au détriment des populations. Lors de la première guerre mondiale, des équipements de destruction importants ont été déployés par l'intermédiaire des chars et des avions mitrailleurs. La violence des affrontements se fait ressentir à la fois sur les pertes militaires mais aussi civiles. On compte lors de cette guerre 20 millions de morts dont la moitié est représentée par la population. Toutefois, ces chiffres ne sont pas comparables à ceux de la seconde guerre mondiale. Le nombre de personnes tuées est estimé entre 50 et 60 millions dont environ 45 millions de civils. Le champ de bataille n'est plus le seul lieu des affrontements. Le développement d'armes de destruction massive sera l'une des raisons. L'utilisation du pétrole sera sans aucune mesure le facteur permettant l'utilisation d'armes de longue portée. On voit lors de cette guerre les premiers missiles à moyenne mais aussi longue portée avec le missile balistique V2. Les chars seront aussi plus performants que lors de la guerre de 14-18. Les avions connaîtront un changement majeur dans leur propulsion en passant au moteur à réaction. Cela permettra notamment de toucher les pays et villes à distance par delà les frontières. Des villes entières seront rasées par des bombardements. En Angleterre, une série d'attaques aériennes fait 40.000 morts en 1940. Il en sera de même pour la ville de Cologne avec un bilan de 25 000 victimes. La technologie militaire fût l'une des explications mais celle civil fût aussi efficace. Les chemins de fer seront amplement utilisés par les nazis afin de déporter les juifs et prisonniers vers les camps de concentration. En France, ce sont pas moins de 74 trains qui apporteront 73 853 personnes vers une mort presque certaine [Jochen Gucks,1999]. Ces mêmes gains obtenus par le pétrole dans le développement des chemins de fer, auront facilité cette déportation.

On a pu voir précédemment que le pétrole était à l'origine des mobilités que nous connaissons aujourd'hui. Cette ressource a facilité le transport de marchandises et de personnes comme jamais auparavant. Nous pouvons de nos jours rejoindre n'importe quel pays dans le monde que ce soit par avion ou par bateau. Les technologies fonctionnant au pétrole ont compressé le temps et les espaces. Il nous faut 7h47 pour traverser l'Atlantique et rejoindre New York. Par le passé, le temps se comptait en mois afin d'atteindre le continent américain. L'industrie du tourisme s'est développée à l'aide du pétrole. De nos jours, le transport aérien représente pas moins de 6 milliards de voyageurs par an soit 93 000 vols par jours dans le monde. Le tourisme a un impact non négligeable sur les émissions de CO2 mais aussi la destruction de milieu naturel.

Le pétrole est le combustible de la mobilité individuelle. De nos jours, il nous paraît tout à fait normal qu'un foyer possède au moins une voiture. Le cumul de la production de voitures et du parc déjà existant dépasse les 2,5 milliards. Le développement de l'industrie automobile a changé notre perspective du déplacement dans la vie quotidienne. La construction des différents aménagements urbains sont pensés pour le déplacement automobile. Le développement en périphérie des villes de zone pavillonnaire devient le rêve d'une partie de la population française. On observe ce phénomène de périurbanisation à partir des années 1960. Cependant ce phénomène n'est pas unique en France. Les Etats-Unis vont construire des quartiers entiers sur de longues artères en ligne droite en périphérie des grandes villes. Ils sont construits et pensés afin de permettre le transport de la population en voiture vers les centres villes. Ces zones pavillonnaires deviennent un élément majeur du rêve américain avec ces grandes maisons luxueuses. Ces années 60-70 vont correspondre à la croissance fulgurante du parc automobile jusque de nos jours. Entre 1900 et 1970, il atteint les 500 millions de véhicules. Il ne faudra attendre que 13 ans pour voir ce chiffre doubler.

Cette réduction du temps et des espaces, a permis le phénomène de désindustrialisation des pays développés vers les économies émergentes. Le développement du fret maritime et aérien en est l'un des facteurs clés. La main-d'œuvre est moins chère dans ces pays-là. Cependant, il fallait rendre rentable le transport vers les consommateurs. Ainsi le fret maritime a suivi la croissance des

échanges commerciaux internationaux jusqu'à représenter de nos jours 80% du transport de marchandises [Antoine Frémont, 2019]. La taille des navires s'est développée de sorte à permettre de suivre l'augmentation des exportations. Certains atteignent les 400 mètres de longueur et 59 de large. Il faut donc de grande quantité d'énergie stockable et consommée afin de déplacer un tel bateau. Ce secteur d'activité est très dépendant du pétrole puisque ce n'est pas moins de 45% de la consommation en fioul lourd qui y est dédié.

Les impacts du pétrole sur nos sociétés est un sujet très vaste qui mériterait sa propre étude. J'ai essayé de transmettre lors de ces deux dernières parties l'importance que cette ressource a pu avoir sur notre développement. Elle nous a permis de développer les industries en améliorant les rendements des systèmes mécaniques. Le pétrole a aussi permis d'en créer de nouvelles telles que l'automobile, l'aviation, le tourisme, la pétrochimie etc... De nos jours, cette matière visqueuse est présente dans la grande majorité des produits que nous utilisons et mangeons. Ces produits que nous consommons proviennent de la terre entière. Nous vivons dans un système mondialisé qui sans elle ne le serait pas à ce point. Cette ressource, nous a permis d'atteindre des niveaux de vie plus importants que ce soit sur la longévité ou le confort. Toutefois, cette situation n'est en aucun cas une généralité. Son impact est sans commune mesure sur nos sociétés. Nous vivons dans un système mondialisé où le pétrole mérite bien son surnom d'or noir.

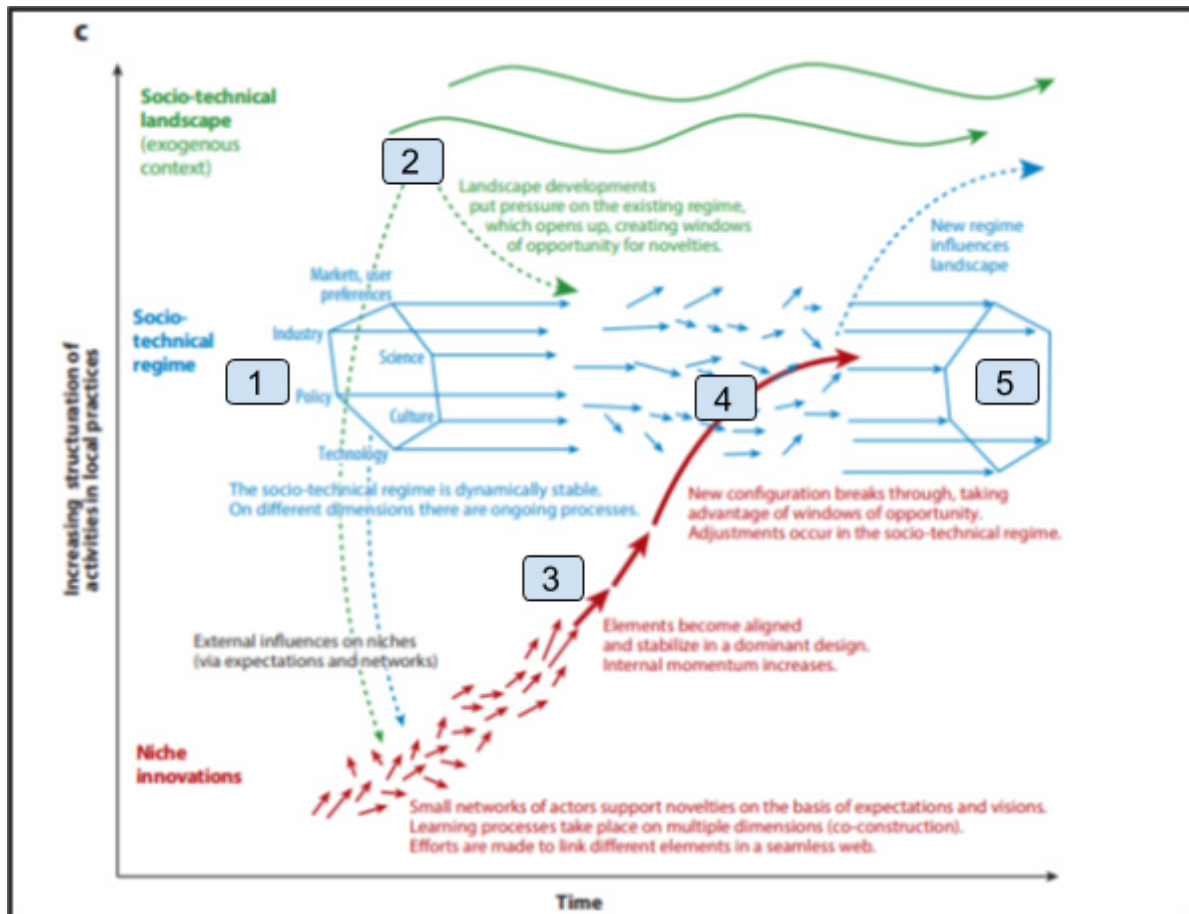
## C. Définition d'une transition énergétique

### 1. Définition et observation

Depuis quelques années, on entend très régulièrement le terme de transition énergétique. C'est un concept inventé en 1970 en Allemagne. Il a été créé par un mouvement anti-nucléaire qui sera soutenu par des organisations

environnementales. Dans les années 80, une définition lui est donnée. C'est un processus de transformation sociétale consistant à passer d'un système énergivore basé majoritairement sur des énergies fossiles et fissiles à un système moins énergivore basé sur les ENR [Esther Bailleul,2019]. Ces deux mots sont devenus incontournables. J'aimerais toutefois donner une analyse de la définition plus personnelle. Pour définir ce qu'est une transition énergétique, nous allons nous intéresser à la définition du premier terme. Ainsi, on peut caractériser une transition comme un processus permettant le passage d'un état à un autre. On parle principalement d'un changement se déroulant dans un système. C'est-à-dire un milieu composé d'éléments qui interagissent entre eux. De manière générale, ces termes sont utilisés dans les sciences dures (physique, chimie, biologie etc...) mais aussi en sociologie et d'autres disciplines. L'une des variables importantes de l'analyse de transition d'un système, est celle de l'échelle. Les interactions entre les différents éléments qui le composent ne sont pas les mêmes. C'est notamment le cas en économie ou bien en physique. En fonction de l'échelle que l'on choisit pour analyser la transition d'un système d'un état vers un autre, il faut prendre en compte de nouvelles variables et lois qui le régissent [Derk Loorbach, Niki Frantzeskaki, Flor Avelino, 2017]. Nous avons précédemment défini ce qu'est l'énergie et en quoi elle nous est essentielle dans notre développement. L'énergie est primordiale dans nos sociétés. Il en devient alors important de mettre l'accent sur leur pluralité. Comme nous avons pu le mentionner plus haut, l'échelle est importante. Ainsi, chaque pays est une société avec ses acteurs et les relations entre eux. Toutefois de nos jours, nous pouvons remonter l'échelle à celle des continents, union économique, voir même mondiale. Comme on a pu le voir, le pétrole a permis une mondialisation que jamais l'humanité n'a pu connaître sous cette envergure. Chaque pays est un acteur qui va entrer en interaction avec d'autres produisant aux passages sur le reste du système. Une transition énergétique peut alors se définir comme étant un changement dans l'énergie utilisée par un système pour fonctionner. On ne peut cependant pas parler de transition sans en évoquer les impacts. Un système a pour objectif de toujours chercher une forme de stabilité qui va pouvoir lui permettre de continuer son développement. Toutefois, il est dans un environnement ouvert ou des événements externes ou internes peuvent l'impacter. Contrairement aux espèces, il peut choisir d'évoluer afin mieux s'adapter au nouveau contexte dans lequel il évolue. Ce choix ne se fait bien sûr pas sans une certaine contrainte. Des acteurs du

système vont résister aux bouleversements. Ces freins sont tout à fait naturels puisque la force du système est de rassurer les acteurs qui le composent. En revanche, le changement va quant à lui provoquer de l'inconfort et de l'incertitude. On appelle cela la résistance aux changements.



Le schéma ci-dessus représente les différentes étapes du processus de transition dans un système sociotechnique [ Derk Loorbach, Niki Frantzeskaki, Flor Avelino, 2017]. On observe au point [1] un système à l'équilibre. Au fur et à mesure du temps qui passe, des événements vont alors impactés à la fois celui-ci et des acteurs en marge [2]. Ces événements vont mettre en lumière des brèches dans son fonctionnement. Certains acteurs initialement en marge vont alors tenter de trouver des solutions [3]. Ceux initialement présents dans le système sont moins enclins à changer. Ils vont alors générer des résistances à leur rencontre des solutions proposées [4]. Il s'ensuit une phase de sélection naturelle dans laquelle la survie des

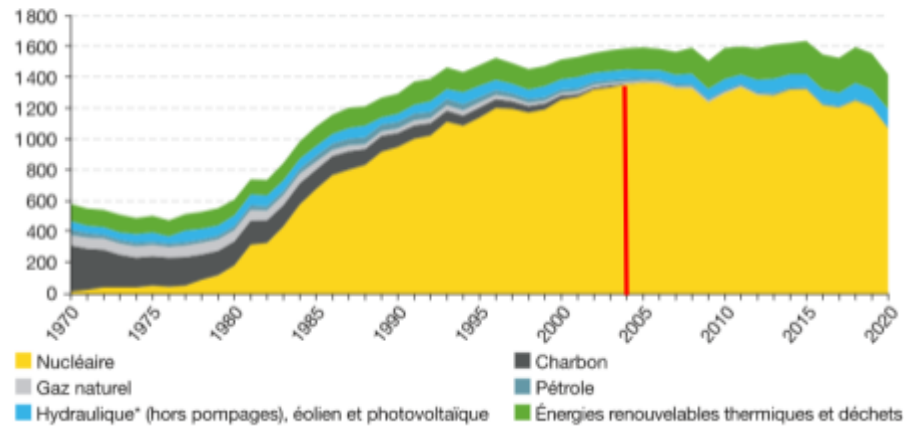
acteurs dépend de l'adéquation de leur solution. Par la suite on peut observer une phase de restructuration et de stabilité du système [5]. Certains systèmes finissent par disparaître si les réponses aux enjeux rencontrés ne sont pas trouvées. Lorsque l'on parle de transition une typologie d'échelle entre en compte, celle du temps. L'importance que chaque acteur accorde à la transition va dépendre de la façon dont il va visualiser ses priorités dans le temps. De plus, le temps n'est pas vécu de la même manière, sur l'échelle d'une vie humaine, de la mise en place d'un projet, mandat, carrière politique. En fonction des priorités et des enjeux cela peut impacter une transition.

Nous avons ici un moyen d'appréhender la notion de transition énergétique. Toutefois, comme tout cadre théorique, il doit être confronté à la réalité. Tout d'abord, nous allons prendre l'exemple de la France. La notion de transition énergétique part du postulat d'une substitution de l'utilisation d'une énergie à une autre. Dans les faits c'est bien plus complexe que cela. De nombreux auteurs ont montré qu'il n'y a pas de transition mais une superposition des énergies. On parle de phénomène en escalier. A partir du XVIII<sup>e</sup> siècle, le charbon devient une source importante pour l'économie française. Toutefois, elle n'a pas effacé le bois de l'équation des sources d'énergies. Elle est venue s'ajouter et s'est substituée à son utilisation en fonction des usages. Il en fût de même avec l'apparition du pétrole au cours du XIX<sup>e</sup> siècle. Une subtilité s'ajoute avec l'avènement de la production d'électricité à la fin du XIX<sup>e</sup> ème. Cette énergie est produite à l'aide d'une autre. Le charbon et le fioul vont servir à produire l'électricité jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle. On voit alors la notion de production d'énergie primaire et secondaire apparaître. Ainsi une source d'énergie est dite secondaire lorsque pour la produire il faut transformer une énergie appelée primaire. Ces différentes sources d'énergie vont alors s'additionner dans la consommation d'énergie. Les usages et la demande hausse constante énergie vont alors expliquer cette superposition. Cependant, on peut observer des phénomènes de transition dans l'utilisation d'une énergie à une autre en fonction des usages. En France, on retrouve cela dans la production d'électricité. Elle était produite principalement par combustion du charbon et de fioul jusque dans les années 70. Une transition va alors s'opérer avec le développement de la filière nucléaire. Le charbon va disparaître progressivement de notre production d'énergie primaire (Trait rouge). On l'observe nettement sur le graphique ci-dessous.

### PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

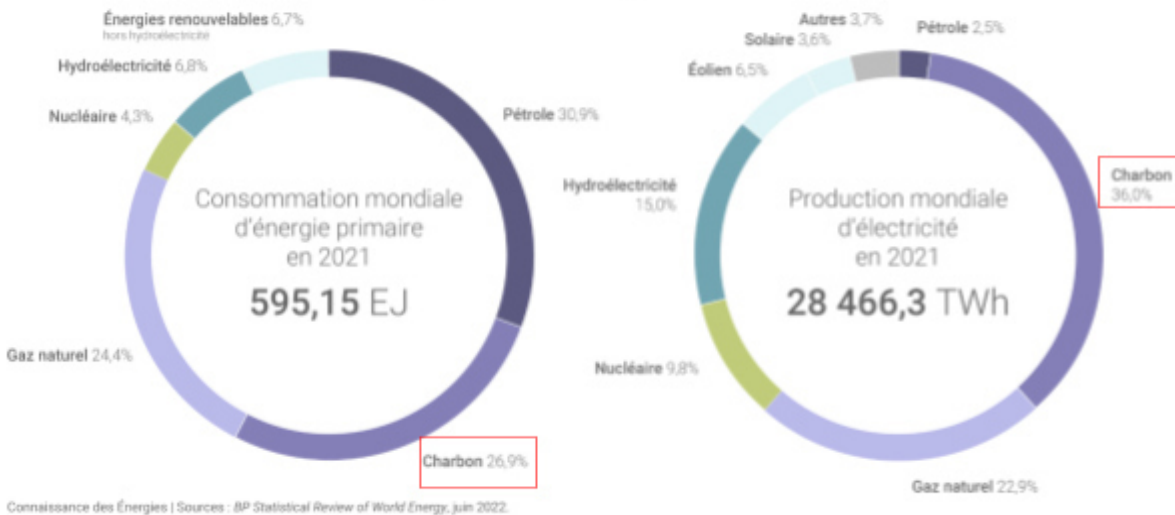
Total : 1 423 TWh en 2020

En TWh



Lien du Graphique: [site gouvernemental](#)

### Monde La consommation d'énergie totale et la production d'électricité en 2021



L'intérêt de l'échelle dans la notion de transition énergétique se trouve bel et bien ici. A l'échelle de la France, on observe une disparition nette du charbon dans la production et la consommation d'énergie. Toutefois ce n'est pas le cas à l'échelle mondiale ou celui-ci est parmi les principales sources de production d'électricité et de consommation d'énergie. On s'en aperçoit dans l'image ci-dessus issue de la revue BP Statistical Review of World Energy (2022). Pour conclure cette partie, on se rend compte que la définition de transition énergétique n'est pas réellement observable à une échelle généralisée. Il existe cependant des transitions dans certains systèmes de production d'énergie comme avec l'électricité en France.

## 2. Les impacts des transitions

Lors des parties précédentes, j'ai mis en perspective deux sources d'énergies que sont le charbon et le pétrole en fonction de trois critères. Nous avons alors abordé les sujets autour de l'exploitation des ressources ainsi que de leurs impacts industriels et sociétaux. Ces trois parties permettent d'observer et de définir des liens entre elles. Que ce soit pour le pétrole ou le charbon, le développement technologique est indissociable de l'extraction de la ressource et du développement industriel. C'est d'ailleurs cette synergie entre les deux qui permet sa diffusion. Chaque ressource a alors un impact différent sur la société en fonction de ces propriétés. Dans ce domaine là, le pétrole reste maître. De par leurs propriétés, les usages ont fait qu'elles ne se substituent pas l'une à l'autre. Leur production et consommation sont aujourd'hui les plus importantes sur Terre. On a pu voir qu'il existe des pays dans lesquels le charbon n'est plus utilisé ou de manière très marginal. Comment expliquer ces transitions de substitution entre une énergie et une autre.

Dans le cas de la France, nous avons changé de système de production d'électricité dans les années 70. Il existe différentes raisons mais l'un d'entre est majeur, l'indépendance à la ressource. On a pu voir lors des parties précédentes l'importance de l'accès à une énergie en grande quantité et à moindre frais. Ainsi les caractéristiques du territoire vont fortement impacter l'exploitation d'une ressource et par la suite l'industrie et la société. Le charbon Français représentait une réelle épine dans son développement industriel. Depuis le XX siècle, nous devons importer la ressource d'Allemagne et d'Angleterre. Nous rendant alors dépendant de ces importations. Par chance lors de la seconde guerre mondiale, une nouvelle source d'énergie émerge, le nucléaire. Bien que son application première soit militaire dès 1950, la France réfléchit à un développement civil. La richesse énergétique de l'uranium permet alors son utilisation dans la production de l'électricité. Le charbon n'avait donc plus d'intérêt puisque les chaufferies industrielles sont passées au fioul lourd. C'est dans cet usage que la substitution eut lieu. L'uranium n'est pas présent sur le territoire cependant il est plus facilement stockable en termes de volume et de production d'énergie. La transition dans les usages se fait bien souvent pour des choix stratégiques d'accès à la ressource ou bien par efficacité et développement



technologique. La Chine est un exemple parfait. Son territoire est presque équivalent à celui des Etats-Unis et riche en ressources. Le Charbon y est présent en grande quantité et de très bonne qualité. Il représente environ 87% de l'énergie primaire pour la production d'électricité. La forte présence de cette ressource à portée de main. Réaliser une transition énergétique de son système électrique pourrait représenter un risque de dépendance. Des études montrent qu'il est possible que sa demande d'électricité double d'ici 2030. L'une des solutions identifiée est celle du nucléaire notamment avec la création d'EPR. Une transition énergétique dans la production d'électricité est nécessaire mais la rendra plus dépendante. La Chine tente déjà d'obtenir cette indépendance dans ses importations de pétrole. Aujourd'hui, ce n'est pas moins de 66% de celui-ci qui est importé. Afin d'y remédier, elle développe ses recherches dans l'extraction du pétrole de schiste. Une solution déjà mise en place par les Etats-Unis afin de libérer de l'OPEP. Les transition énergétiques représentent des enjeux majeurs d'indépendance et de souveraineté [Philippe Charlez,2016].

De par, son importance dans un environnement sociotechnique, une transition énergétique peut avoir des impacts importants. Tout d'abord, parce qu'elle implique des changements structurels d'un système. Ces modifications apportées aux systèmes impactent une multitude de dimensions tel que technologique, matériel, organisationnel, institutionnel, politique, économique mais aussi socio-culturel.

## II. Nos transitions Énergétiques

### A. Les enjeux de notre transition énergétique

#### 1. Réduction émissions GES

Le passé nous rattrape toujours. Voilà une phrase sortie tout droit d'un film hollywoodien. Néanmoins, elle s'applique plutôt bien à la situation actuelle. Du XVIII<sup>e</sup> siècle à nos jours, nous extrayons des énergies fossiles comme le charbon, le pétrole ou bien le gaz. Ces ressources carbonifères étaient stockées depuis des millions d'années dans les entrailles de la Terre. En l'espace de trois siècles, nous avons relâché dans l'atmosphère plus de CO<sub>2</sub> que ce dont notre planète est capable d'absorber. Depuis l'ère pré-industriel, ce n'est pas moins 2 000 gigatonnes de dioxyde de carbone qui ont été rejetées. Si on le rapporte aux nombres d'années qui a fallu pour les émettre, nous sommes à 7 gigatonnes par an. Cela a déjà eu pour impact une hausse de 1,1°C. On se rend alors compte de ce vers quoi on tend quand l'on sait qu'en 2010, nos émissions plafonnaient à 53 gigatonnes en un an (rectangle vert, schéma ci-dessous). Poursuivre sur cette tendance, nous conduirait à une augmentation de 5°C d'ici 2100 [Philippe Charlez,2016]. Lorsque nous parlons des gaz à effet de serre, nous parlons principalement de CO<sub>2</sub>. Cette molécule représente 78% des GES en France. Toutefois, il en existe deux autres dont les impacts sur le réchauffement ne sont pas négligeables. On retrouve le méthane à 15% et l'azote à 7%. Il est à noter que le méthane, bien que moins présent, représente un impact beaucoup plus important que les deux autres. L'effet de serre est un phénomène tout à fait naturel à l'origine. Il permet la présence de préserver une partie de la chaleur reçue du soleil et celle émise par la Terre. Cet effet permet de garder dans l'atmosphère une température où l'eau se trouve à l'état liquide ce qui est nécessaire à l'apparition de la vie. Toutefois dans un écosystème tout est notion d'équilibre. Aujourd'hui, nos activités émettent trop de gaz à effet de serre, ce qui a pour conséquence de retenir plus fortement la chaleur. Cette hausse de la température aura des impacts irréremédiables sur la planète et les différents

écosystèmes. Tout d'abord, nous risquons de devoir faire face à un nombre croissant de phénomènes extrêmes tels que les canicules, ouragans, fortes précipitations. Dû à la dilatation et à la fonte des calottes glaciaires, les niveaux des océans pourraient monter entre 50 cm et 84 cm dans le pire des cas d'ici 2100. D'après le GIEC, près d'un milliard de personnes, se trouvant sur les côtes, vivraient dans des zones à fort risque de submersion. La hausse des températures a des impacts importants sur les différents écosystèmes. De nombreuses espèces ont déjà disparu de la surface de la terre à cause des activités humaines. Elles seraient pas moins de 2,5 millions disparues depuis l'anthropocène. Ce nombre ne fera qu'augmenter au fur et mesure de l'évolution de la température.

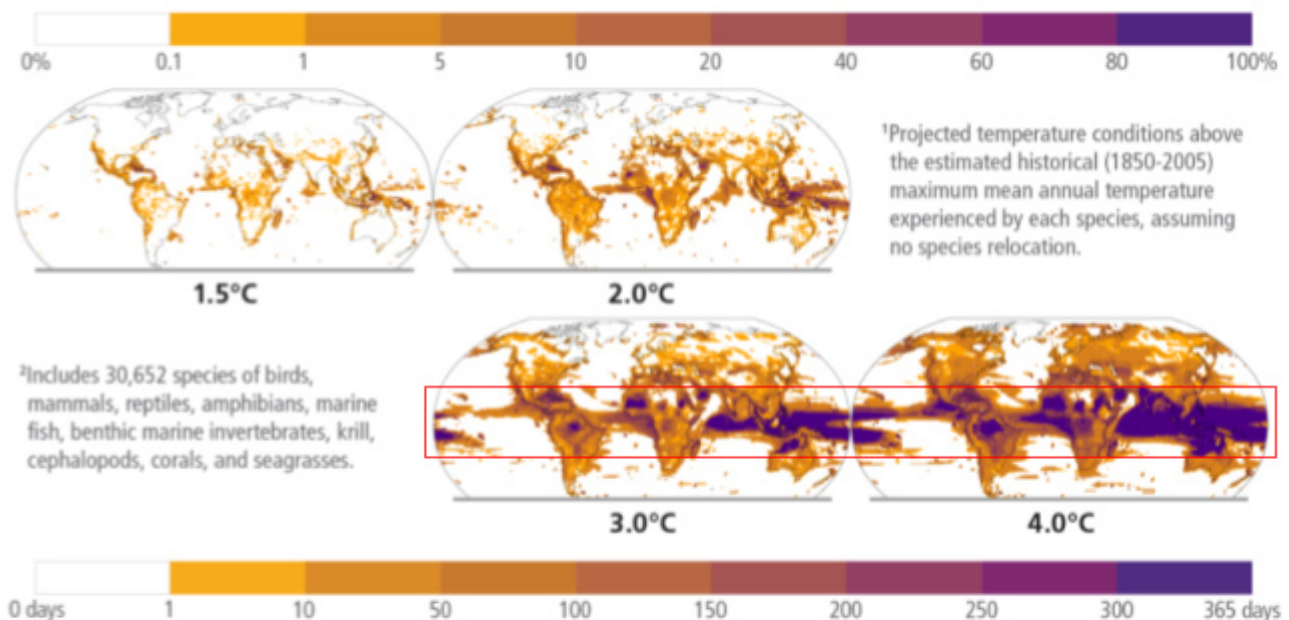


Image issu du rapport GIEC

On remarque sur l'image ci dessus, le pourcentage d'espace touché par un hausse de la température en fonction des régions du monde. On s'aperçoit du désastre sur la large bande rouge. Une augmentation de 4°C entraînerait des impacts sur 100% des écosystèmes tous les jours de l'année.

Tout cela aura bien évidemment un impact sur notre espèce. La hausse des températures et des taux d'humidité importants rendra la vie humaine compliquée

voir impossible. Dans l'image ci-dessous, on s'aperçoit une fois de plus que dans cette bande rouge, une augmentation comprise entre 2,3°C et 5,4°C rendra certaines zones géographiques invivables. A partir d'une augmentation de 5,4°C, c'est tous les jours de l'année qu'il sera impossible d'y vivre.

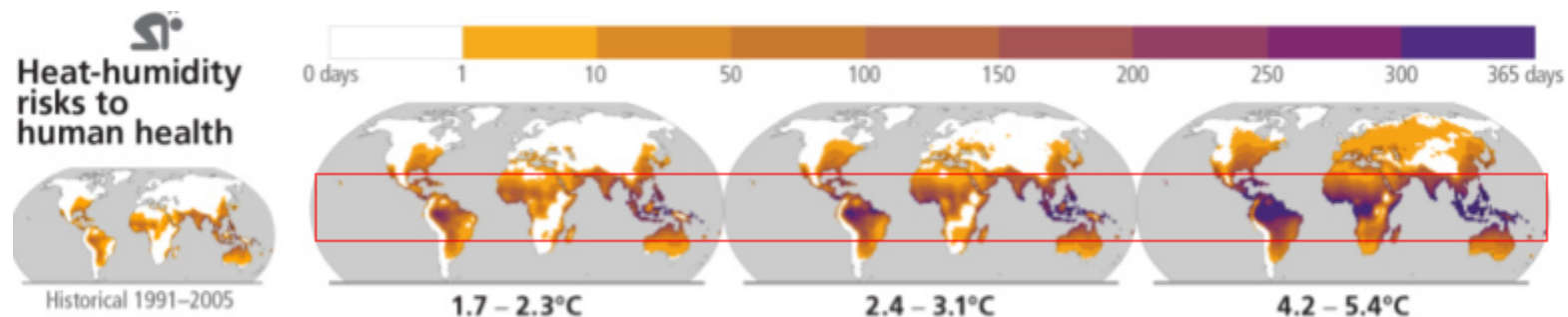


Image issu du rapport GIEC

Les phénomènes climatiques extrêmes aggraveront les cycles de sécheresse et inondation ce qui touchera les rendements agricoles. Certaines régions verront des pertes de l'ordre de 35% sur les productions de maïs et la ressource halieutique (zones en violet foncé).

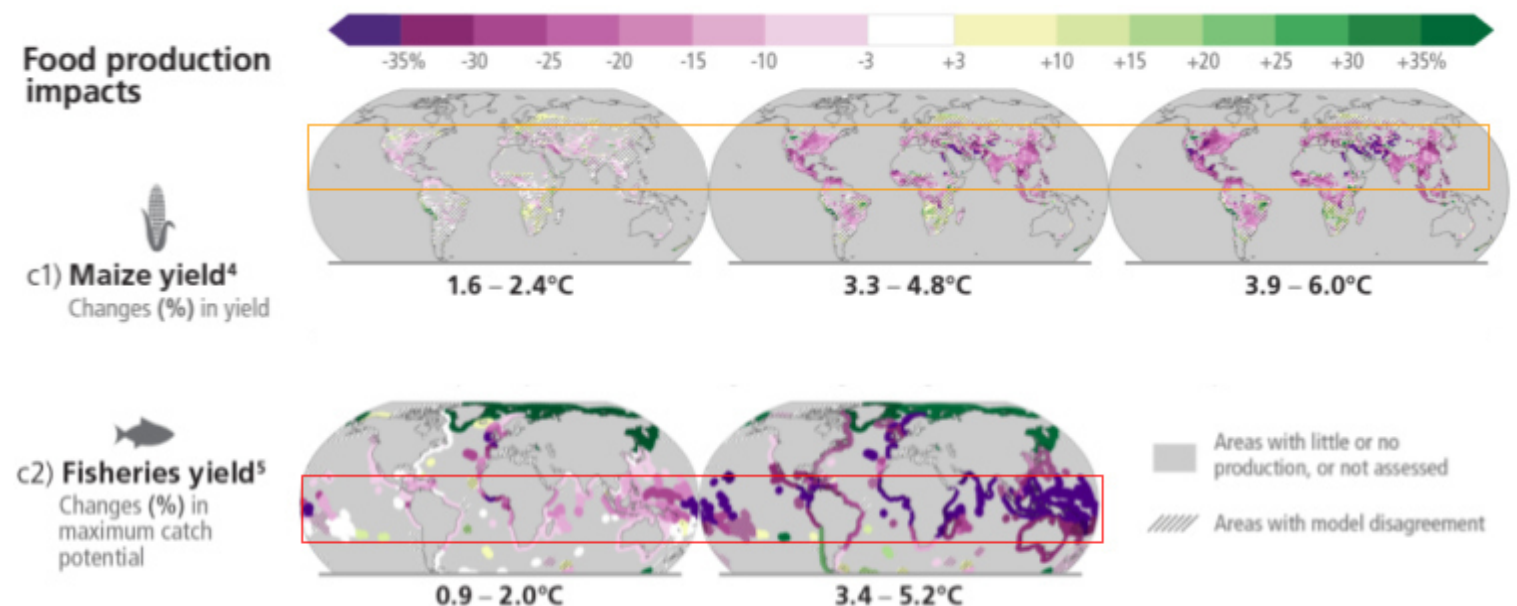


Image issu du rapport GIEC

De plus, la population continue d'augmenter. Les nations unies estiment que nous atteindrons les 8,5 milliards en 2030 puis les 10 milliards en 2050. Les baisses de

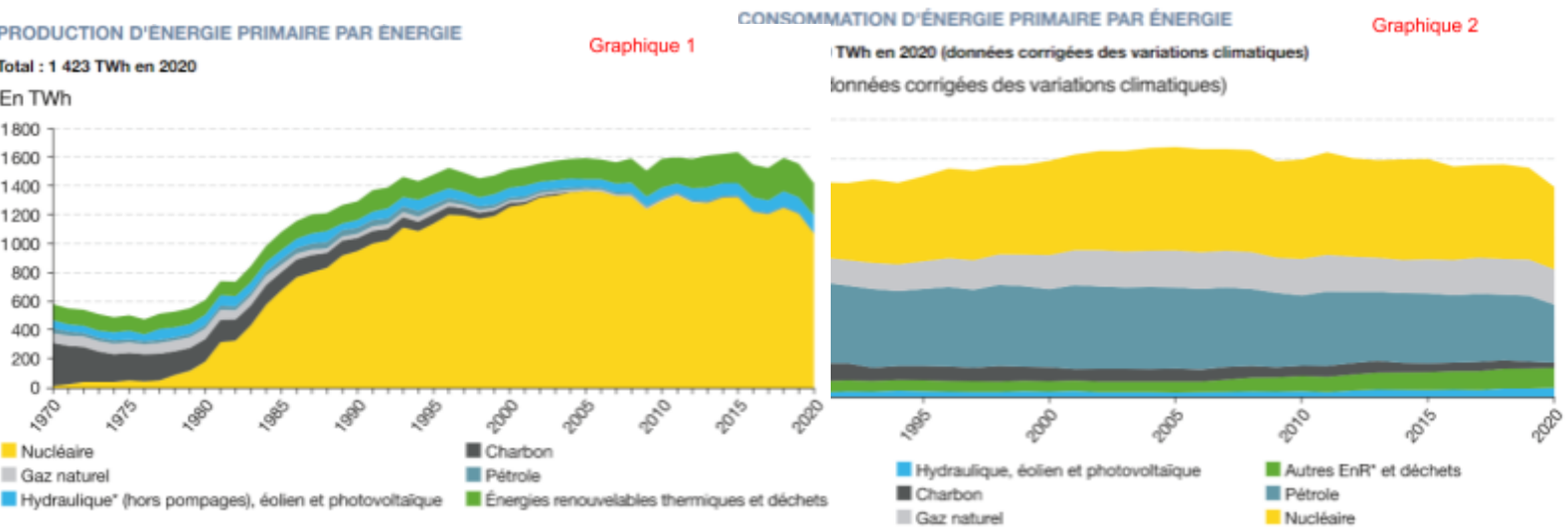
rendement agricole et la croissance de la population mondiale risquent de multiplier le nombre de famines. Cela occasionnera nécessairement des mouvements de population plus nombreux dans les prochaines décennies. Ce qui pourrait aussi provoquer un accroissement des conflits armés. Ces différentes images mettent en lumière des inégalités dans les impacts que va avoir le réchauffement climatique. Le rectangle rouge montre que c'est une même zone qui est principalement touchée. On y retrouve des continents fortement peuplés comme l'Asie, l'Afrique et l'Amérique du sud. Cela présente plus de 6 milliards sur les 7,9 d'êtres humains qui peuplent cette Terre. Ces régions sont à la fois plus peuplées mais aussi les plus impactées par le réchauffement climatique. On estime les flux migratoires pour ces raisons aux alentours des 200 millions de personnes d'ici 2050. Bien que tous les pays ne soient pas touchés de la même manière, nous sommes tous concernés par ces impacts.

A l'heure actuelle, il n'est pas possible d'arrêter le processus du réchauffement climatique. En revanche, il est de notre devoir pour nous et les générations qui vont suivre de le limiter. Pour respecter les accords de Copenhague fixé en 2009, il nous faudrait réduire les émissions mondiales à 25,5 gigatonnes de CO<sub>2</sub>. Cependant, les chiffres du GIEC montrent que la tendance est plus à la hausse qu'à la baisse. On s'aperçoit qu'entre 2010 et 2019, les émissions ont augmenté de 6 gigatonnes. Ces émissions sont en grande partie dues à l'utilisation d'énergie fossile dans nos sociétés. Depuis 1971 jusqu'à aujourd'hui, la consommation d'énergie primaire n'a fait qu'augmenter. Le pétrole, le charbon et le gaz n'ont jamais été autant exploités que de nos jours. Ils représentent aujourd'hui 81% de la consommation d'énergie primaire mondiale. La réduction des émissions est nécessaire afin de limiter les impacts du réchauffement climatique. Afin d'y arriver, les états doivent mettre en place des transitions énergétiques en fonction des champs d'applications de chaque énergie. L'objectif est d'obtenir un mix énergétique bien moins émetteur en GES.

## 2. Construire un mix énergétique

Nous avons vu lors de la partie précédente quels seront les impacts du réchauffement climatiques si nous ne diminuons pas nos GES. La production et

consommation d'énergies fossiles sont les principaux responsables de ces émissions. De nos jours, nous utilisons différentes énergies en fonction de leurs propriétés. On voit donc apparaître la notion de mix énergétique. On peut la définir comme étant l'ensemble des énergies primaires consommées dans un pays ou territoire. Il est plus intéressant de mon point de vue de parler de consommation que de production dans ce cas là. L'analyse serait faussée dans le cas contraire puisque tous les pays ne produisent pas des énergies fossiles sur leur territoire.



### Données gouvernementales

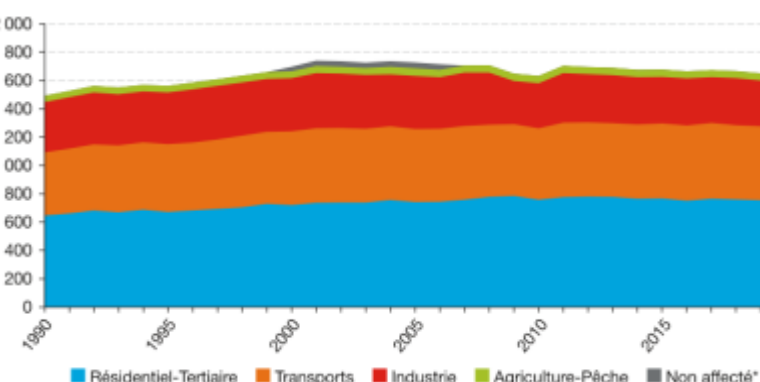
On peut voir ci-dessus deux graphiques représentant un mix énergétique de production et l'autre de consommation. On s'aperçoit que sur le graphique que la part d'énergie fossile est minime dans la production française. On pourrait se dire que nos sources d'énergies ne sont pas les responsables de nos émissions. Seulement, ce n'est pas révélateur de la situation réelle. Le deuxième graphique représente la consommation d'énergie primaire en France. En combinant les parts du charbon, du gaz et du pétrole, on obtient alors 46,4% d'énergie fossile consommée. Cela représente le premier pôle de consommation suivie de près par le nucléaire avec ses 40%.

Nos émissions de CO<sub>2</sub> sont principalement liées à notre mix énergétique consommé. Cela s'explique par le fait que nous ne produisons pas de gaz, charbon ou de pétrole sur notre territoire. Il est composé par 3 trois principaux pôles que sont les énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon), le nucléaire et pour finir les énergies renouvelables.

Dans ce mix énergétique, certaines énergies vont être plus plus utilisées que d'autres en fonction des champs d'application. On voit dans le graphique 3 ci-dessous, que le principal pôle de consommation d'énergie est le résidentiel-tertiaire (49%) suivi par le transport (28%). Toutefois, dans ces deux mêmes secteurs les émissions de GES vont dépendre des énergies utilisées. Dans le domaine du transport ce n'est presque exclusivement représenté par le pétrole (essence, gazole, carburacteur) à 91%. Ce qui en fait le principal pôle d'émissions de gaz à effet de serre en France devant le secteur du Résidentiel-tertiaire. En effet, dans ce domaine, le mix énergétique est plus composite. La part d'électricité est majoritaire dans la consommation d'énergie (Résidentiel : 34%, Tertiaire : 52%). Dans notre mix énergétique principal, le nucléaire représente 70% de notre production d'électricité tandis que les ENR 26%. Nos émissions de GES liées à la production d'électricité sont alors minime.

CONSUMMATION FINALE ÉNERGÉTIQUE PAR SECTEUR  
 Total : 1 562 TWh en 2020 (données corrigées des variations climatiques)  
 En TWh (données corrigées des variations climatiques)

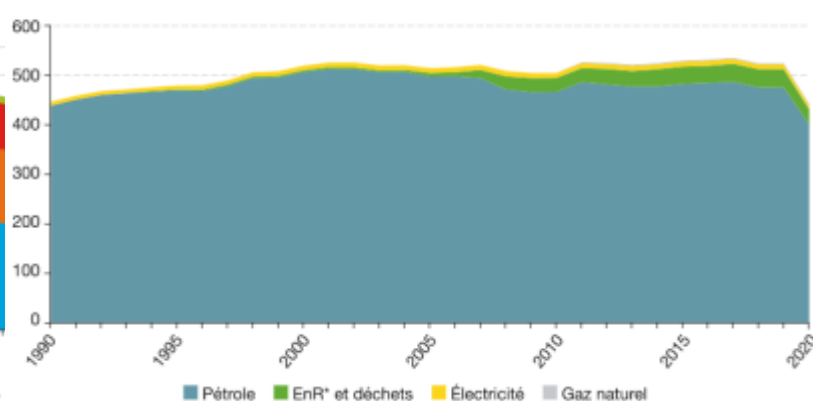
Graphique 3



TRANSPORTS : 443 TWh EN 2020

En TWh

Graphique 4

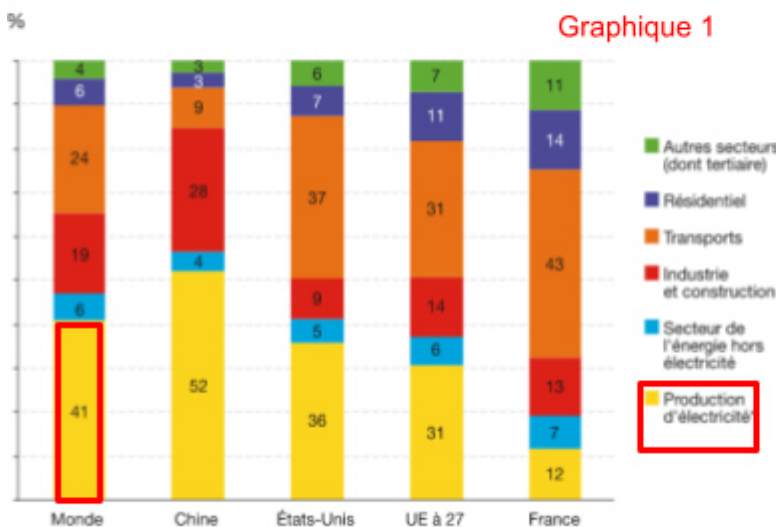


### [Données gouvernementales](#)

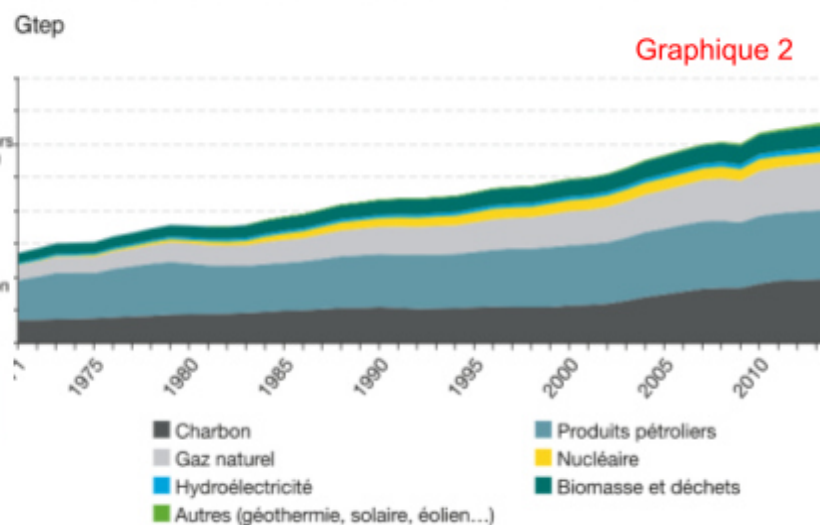
Ainsi, l'impact de notre mix énergétique sur les émissions de GES va dépendre des secteurs d'activités. Le secteur alimentaire composé de l'agriculture et de la pêche est très dépendant de l'utilisation d'énergies fossiles. Les produits pétroliers représentent 70% de leur consommation. Bien que les émissions de gaz à effet de serre dans l'agriculture ne soient pas majoritairement liées aux énergies (13%). Ce sont les émissions en méthane et en protoxyde d'azote issues de l'élevage et de la fertilisation des sols.

Le secteur industriel va utiliser différentes sources d'énergie afin de subvenir à ses besoins. Le gaz naturel représente 40% de l'énergie utilisée, ce qui représente 55% d'énergie fossile avec le pétrole et le charbon. L'électricité est le deuxième représente 35% de la consommation globale. Certaines industries demandent de grandes quantités d'énergie afin de produire. Les secteurs les plus énergivores sont la chimie, la métallurgie et l'industrie des matières plastiques. Le secteur de l'agroalimentaire est quant à lui le plus gros consommateur de gaz.

ÉMISSIONS DES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DUES À LA COMBUSTION D'ÉNERGIE EN 2019



CONSOMMATION MONDIALE D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE



### Données gouvernementales

Chaque pays a un mix énergétique différent. Cela va dépendre de nombreuses variables telles que l'accessibilité aux énergies, le coût de chacune d'entre elles, le niveau de développement du pays et la richesse du territoire. A l'échelle mondiale, le mix énergétique est principalement composé d'énergie fossile (80%) comme on peut le voir sur le graphique 2 ci-dessus. On s'aperçoit que cette part d'énergies fossiles continue d'augmenter. Une grande partie de celles-ci sont utilisées afin de produire de l'électricité (graphique 1 rectangle rouge). Cependant, en fonction des pays cela représente une part plus ou moins importante. En Chine se sont pas moins de 52% des émissions. L'une des raisons à cela est que son mix énergétique est principalement composé de charbon (66%) et de pétrole (18%). Les Etats-Unis a l'image ont un mix énergétique principalement basé sur les énergies fossiles de l'ordre de 80%. Cela est relativement similaire à la Chine. Toutefois, on peut



apercevoir que la structure des émissions n'est pas la même. La Chine émet nettement plus dans l'industrie tandis que les USA et l'Europe bien plus dans le transport. On peut expliquer cela de part la nature des économies. Les importations de produits vont faire augmenter les émissions liées au transport dans la zone UE et aux USA. Dans le sens contraire, la Chine a un modèle économique tourné vers la production (29% des émissions de CO<sub>2</sub> lié à l'industrie) puis l'exportation. Elle représente 14,5% des échanges mondiaux.

On peut alors conclure que le mix énergétique d'un pays a un impact sur les émissions en GES de celui-ci. De plus, en fonction de la structure de l'économie certains secteurs seront plus émetteurs que d'autres. La création de mix énergétique moins émetteur, permettrait de limiter les dégâts. La notion de transition est alors intéressante lorsqu'elle s'applique à celle de mix énergétique. On a pu voir lors de la première partie que chaque énergie a ses propriétés et donc ses applications. La notion de mix permet d'après moi de mieux associer une ressource à son utilisation. On doit alors définir quelle énergie peut être substituée à une autre dans un usage précis afin de réduire les émissions. Cependant certains d'activités vont pouvoir plus facilement réaliser une transition énergétique que d'autres. Le secteur du transport et de l'industrie lourde gardent une forte dépendance aux énergies fossiles.

Afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, il nous faut réaliser des transitions dans le mix énergétique mondial. Pour atteindre les objectifs fixés des +2°C, il faudrait passer la part des énergies fossiles de 82% à 52% d'ici 2050 puis à 26% en 2100 [Philippe Charlez,2016]. Chaque pays doit réaliser des changements profonds dans leur mix en partant du principe qu'il n'y ait pas de baisse de la demande d'énergie. Des bouleversements assez spectaculaires pourraient être obtenus avec des transitions réalisables entre certaines énergies. A titre d'exemple, si la Chine réduit sa consommation en fossile en passant de 82% à 62%, un tiers des objectifs climatique serait atteint. Il faudrait pour cela passer de 54,6% de charbon à 31% et augmenter le gaz à 21% contre 8% aujourd'hui. Ajoutez à cela une hausse de 6% en renouvelable et de 8% nucléaire, nous aurons une partie du chemin de fait [Philippe Charlez,2016]. Le passage d'une énergie fossile à une autre peut être intéressant d'un point de réduction des émissions. La production d'électricité par centrale au gaz est 2,4 fois moins émettrice que celle au charbon. Tout en sachant que de nos jours, la production d'électricité est à 62% assurée par le charbon en

Chine. Les états-unis ont un mix énergétique qui devra être celui de la chine dans les prochaines décennies. Toutefois pour répondre au défi de la réduction des émissions tout le monde doit s'y mettre. Les états-unis doivent baisser de 30% la combustion d'énergies fossiles pour atteindre 54% du mix. En Europe, la situation est plus disparate, chaque pays ayant son mix énergétique. Dans la production d'électricité, la suisse, la France, l'Espagne et le Portugal sont les pays les moins émetteurs de GES. L'Allemagne et la Pologne produisent quant à eux de grande quantité d'électricité au charbon. L'union européenne a une structure des émissions relativement similaire à celle des USA comme on peut le voir sur le graphique 1. Il faudrait donc pour respecter les 2°C en 2050 baisser à 41% la consommation d'énergies fossiles contre 70% aujourd'hui [Philippe Charlez,2016]. Il faudra donc faire disparaître l'utilisation de charbon et maintenir à 22% de gaz.

Tous les pays sont concernés par des transitions au sein de leur mix énergétique. La réduction des émissions peut se faire à la fois en substituant une énergie par une autre dans la production d'électricité. La transformation d'une centrale à charbon en une à gaz peut avoir des réductions significatives (exemple : Chine ou Pologne). Toutefois, le déploiement des énergies renouvelables ou du nucléaire à la place des énergies fossiles a un impact plus important sur la baisse des émissions. Ces systèmes de production d'électricité émettent entre 6 et 10 gCO<sub>2</sub>e/kWh. A titre de comparaison, les énergies fossiles sont aux alentours des 443-1053 gCO<sub>2</sub>e/kWh pour le même usage. Bien qu'à l'échelle mondiale l'électricité représente la part plus importante des émissions de CO<sub>2</sub>, les énergies fossiles permettent de remplir de nombreux autres usages. Il est plus complexe de réaliser des transitions dans les domaines d'activités tels que le transport et les industries lourdes. De nos jours, les alternatives aux énergies fossiles dans ces domaines ne sont pas à un stade de maturité technologique permettant des transitions.

## B. Les impacts de la transition

### 1. Exploitation de la ressource :

Lors de la partie sur l'étude de historique des transitions, nous avons vu l'importance du facteur de l'exploitation sur le développement d'une énergie. Une énergie abondante, accessible et à moindre coût, a plus de chance de se développer dans un mix énergétique. De nos jours, les états doivent prendre en compte une autre variable qu'est celle de l'impact d'une énergie sur les émissions de CO2. On a pu voir lors de la partie précédente que des transitions énergétiques au sein des mix étaient possibles. Certains cas comme celui de la Chine, ne présentent pas de défis technologiques. Les centrales électriques à gaz sont déjà utilisées un peu partout à travers le monde. Cependant la notion d'accessibilité de la ressource en fait ressortir une autre, la dépendance énergétique. Le mix énergétique de la Chine est principalement composé d'énergies fossiles (>80%). La principale source de production d'électricité est la combustion de charbon. Pour des raisons stratégiques, elle n'a pas intérêt à passer à une autre énergie comme le gaz. La Chine possède sur son territoire l'un des plus grands foyer charbonnier de haute qualité. De plus, l'extraction de la ressource est mature d'un point de vue technologique. A contrario, la Chine n'est plus autosuffisante en gaz depuis 2007 [Philippe Charlez,2016]. Elle est dépendante d'importation à hauteur de 30%. Un accord a été signé en 2014 entre la China National Petroleum Corporation et la société Russe GAZprom, pour des approvisionnements en gaz d'un montant de 400 Milliards de dollars. Un gazoduc a été construit afin de relier les deux pays. Cependant, la Chine n'a pas pour autant substituer le charbon et le gaz, ne voulant pas être dépendante de la Russie. Afin de remédier à ces importations, elle pousse à la R&D dans le secteur du pétrole et gaz de schiste. Ces sources d'énergies fossiles sont présentes en grande quantité sur son territoire mais nécessite des compétences technologiques. On retrouve la synergie entre le développement technologique et l'extraction d'une ressource.

La géopolitique impacte fortement la construction d'un mix énergétique. La France n'a pas décidé de produire son électricité au nucléaire pour des raisons écologiques mais bien sur une volonté de réduire sa dépendance. On a pu voir précédemment que le charbon en France était compliqué à extraire (faible rendement) et de moindre qualité que celui de ses voisins Allemands et Anglais. Les importations ne sont pas tant un problème économique que stratégique. Nous l'avons bien compris à la suite du 24 février 2022 lors de l'invasion de l'Ukraine par la Russie. L'Europe est un grand

consommateur de gaz dont 66% de sa consommation est issu d'importation [Philippe Charlez,2016]. Pour de nombreux pays dont l'Allemagne, c'est bien la Russie le premier partenaire. Un gazoduc les relie directement afin d'assurer les approvisionnements depuis la mer baltique. Des sanctions européennes limitent puis interdisent les importations d'énergie venant de Russie. L'impact de la dépendance allemande en ressources fossiles provoqua une inflation importante avec des répercussions sur l'économie et la population. Le corollaire de cette situation, c'est la hausse de l'extraction de charbon en substitution au gaz. De manière logique, cela induit une augmentation des émissions de CO2. Afin d'éviter cette situation, la Pologne a choisi de ne pas dépendre de la Russie dans ses approvisionnements. Les transitions entre énergies fossiles font donc face aux problématiques de souveraineté et de dépendance des pays. Toutefois certains comme les états-unis ont à la fois la ressource sur leur territoire et les capacités technologiques pour réaliser des transitions au sein de leur mix.

Nous avons jusqu'ici parlé uniquement des impacts liés aux transitions dans les énergies fossiles. Toutefois, la production d'électricité, qui représente 41% des émissions de CO2 dans le mix énergétique mondiale, peut se faire à l'aide de sources renouvelables. On retrouve alors l'énergie éolienne, solaire, issue de la biomasse (déchets uniquement), hydraulique et la géothermie. Ces sources servent à produire de l'électricité principalement. La géothermie et la biomasse permettent de produire de la chaleur mais dans de moindre proportion en comparaison aux fossiles ce qui en limite les usages dans l'industrie notamment. La première est principalement utilisée pour la chaleur résidentielle. La combustion de la seconde peut être subsister au gaz ou au charbon. C'est une filière en expansion mais qui ne pourra pas compenser complètement. Aujourd'hui, la combustion de biomasse est constituée de bois ou de méthane produit à l'aide de déchets agricoles.

Les énergies renouvelables servent de nos jours à produire de l'électricité verte cependant certains domaines n'ont pas les capacités technologiques pour passer d'une source thermique à électrique. Ces sources ont des caractéristiques rendant parfois complexe leur substitution aux énergies fossiles lorsque cela est possible. L'énergie éolienne et solaire sont dites intermittentes. On entend par là qu'avec une même capacité de production la production d'électricité va fluctuer sans que nous ayons la possibilité d'y remédier. Les éoliennes ont besoin de vent afin de produire.

Seulement, on ne contrôle pas l'orientation de celui-ci ni son intensité. Il en va de même pour l'ensoleillement et les panneaux solaires. La production d'électricité ne va pas suivre la demande ce qui dans nos sociétés moderne à de réels impacts (économiques, sociales,vitales). Ainsi, il est nécessaire d'avoir en complément une source dont la capacité de production peut-être constante et compenser les manques.

La production d'électricité d'origine hydraulique est plus constante que les deux autres. Cependant, la mise en place d'un barrage n'est pas sans conséquence sur la faune et la flore. On ne peut donc pas augmenter leur nombre de manière à suffisamment compenser l'utilisation de sources fossiles. Certains barrages présentent toutefois l'avantage d'être capables de stocker virtuellement de l'électricité. Le pompage turbinage est une technique qui permet de réutiliser l'énergie produite par le débit d'eau afin de la remonter. Lorsque l'on en a besoin on stoppe le pompage afin de produire de l'électricité.

Les énergies renouvelables doivent se développer afin de composer une part plus importante dans les mix énergétiques. Les transitions sont possibles mais demandent des moyens de compenser les fluctuations de production afin de suivre la demande. Aujourd'hui, ce sont les énergies fossiles qui assurent principalement le rôle de la production électrique. La France a quant à elle choisi le nucléaire afin de répondre à ses besoins. D'autres pays comme les états-unis ou la Chine produisent aussi de l'électricité par ce moyen. Le nucléaire présente de nombreux avantages. Premièrement, une centrale émet en moyenne en France, 6 gCO<sub>2</sub>e/kWh, ce qui est 3 grammes de moins que la plus propre des énergies renouvelables. De plus, elles sont capables de produire à la demande contrairement aux ENR. Cette source de production d'électricité a aussi des inconvénients. Tout d'abord, l'uranium n'est pas extrait sur le notre territoire Français. Nous sommes dépendant d'importations venant du Kazakhstan, Canada, Australie et du Niger. Les trois premiers pays représentent près de 72% de la production mondiale avec respectivement 39%, 22% et 10% de part [NEA, 2016]. C'est principalement Orano, anciennement Areva, qui s'occupe d'extraire l'uranium à l'étranger du côté de la France. Une fois importé, l'uranium naturel doit être enrichi. La réaction nucléaire est basée sur l'envoi d'un neutron (un des éléments constituant un atome) sur un atome d'uranium 235. Il va alors se diviser en deux tout en produisant une forte chaleur. De cette fission de

l'atome une réaction en chaîne se produit sur les autres atomes d'uranium. Pour obtenir cette réaction, il faut une part importante de l'uranium 235 seulement la ressource à l'état naturel est à 99,3% de son isotope 238. On doit alors l'enrichir pour augmenter la part de 235. Cette phase est réalisée en France après l'importation de la matière première.

Au-delà, de la notion de dépendance à l'accessibilité de la ressource, le nucléaire produit des déchets ayant pour certains des durées de vie longue. De nos jours, il n'existe qu'une seule usine de recyclage de l'uranium. Elle se trouve en Russie. Nous avons donc aussi une dépendance au recyclage. Malgré la guerre en Ukraine et les différents embargos contre la Russie, cette relation commerciale n'a pas été remise en cause. Pour des raisons stratégiques, la filière nucléaire ne fait pas partie des restrictions imposées contrairement au gaz et au pétrole.

Ainsi de manière globale, les transitions dans les mix énergétiques se confrontent aux enjeux géopolitique de l'accès à la ressource et de la souveraineté des états. Les énergies renouvelables permettent en partie de s'affranchir de la dépendance aux importations lors de la production d'électricité. Toutefois, leurs caractéristiques font qu'elles ne permettent pas à elles seules de subvenir à la demande. La réduction de la consommation pourrait permettre de faciliter ces transitions. Les projections de consommation d'électricité ne vont cependant pas dans ce sens. On observe l'apparition d'un effet rebond. Afin de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, on tente d'électrifier un maximum. Le corollaire de cette situation, c'est bien la hausse de la demande en électricité. De plus, il ne sera pas possible d'électrifier chaque système fonctionnant aujourd'hui aux énergies fossiles.

## 2. Impact industriel

Lors de la première partie de ce mémoire, nous avons pu voir les impacts du des énergies fossiles sur le développement industriel et économique. Le charbon et le pétrole en sont même à l'origine. Aujourd'hui l'ensemble de l'économie mondiale est dépendante de l'utilisation du pétrole et plus généralement des énergies fossiles. Sa présence dans plus de 90% des produits que nous utilisons, nous le rappelle. Pour le développement économique des pays, l'énergie est une ressource

essentielle. Plus elle est accessible, abondante et à moindre coût, mieux se portera une économie nationale et mondiale. Toutefois, on ne pourra pas à la fois continuer de produire comme nous le faisons et limiter les émissions de GES. A l'échelle mondiale, c'est 19% des émissions de CO<sub>2</sub> que comptabilise l'industrie sans compter le transport des produits manufacturés. Il est donc nécessaire de réaliser des transitions énergétiques afin que ce secteur soit moins émetteur. On peut observer qu'il existe de grandes disparités entre les pays sur la part de l'industrie dans les émissions. Cette part est respectivement à 13% et 9% pour l'union européenne et les Etats-unis. On est bien en dessous de la moyenne mondiale mais surtout de la Chine avec ses 28%. Le phénomène de délocalisation des chaînes de production vers les pays émergents explique cette différence de proportion. Le pétrole a permis le développement du fret maritime et donc rendu possible ce phénomène. On observe d'ailleurs que la part du transport est bien plus prégnante (UE : 31%, USA : 37%) pour nos économies occidentales qui importent les produits de ces pays. La France est particulièrement touchée avec une part de 43%. Les transitions énergétiques dans ce domaine vont principalement toucher les pays émergents. La part du charbon dans ces pays est la plus élevée à 75% de l'énergie primaire utilisée [Philippe Charlez,2016]. On peut alors compter trois difficultés principales. L'une est économique, puisque le développement d'une industrie fonctionnant au gaz en substituant au charbon coûte plus cher. A titre de comparaison, le gaz est 5 fois plus cher à la tonne. Bien que le rendement énergétique soit plus intéressant. On estime que l'intensité énergétique y est plus élevée que dans les pays développés. Dû à leur niveau de développement, il faut quatre fois plus d'énergie pour produire une unité de richesse. De plus, il faut développer des infrastructures importantes d'extraction, de transports (gazoducs) et de stockages. Cela demande des capacités technologiques plus importantes. Pour ces raisons, ce sont bien souvent des compagnies étrangères qui exploitent les gisements lorsque la ressource est présente sur le territoire. La Chine est quant à elle un cas à part. Son niveau de développement lui permettrait déjà de réaliser la transition entre le charbon et le gaz pour son industrie. Toutefois, comme on a pu le voir plus haut pour des raisons d'indépendance, cette transition tarde à se faire. On estime que 60% des émissions de gaz à effet de serre sont faites par les pays émergents [Philippe Charlez,2016]. Ils représentent un gain d'économie d'émission important. Cependant, il est compliqué de demander à ces pays de réaliser ces

transitions dans leur mode de production. Leur développement économique est fortement tributaire de l'implantation d'industrie sur leur territoire. Les pays développés profitent d'une main d'œuvre faible et donc de produits peu chers. Dans le cas d'une hausse des coûts de production, il est possible que les pays développés se décident à relocaliser une partie de leur industrie ce qui n'est pas dans l'intérêt des pays émergents.

Ainsi, on voit qu'il est complexe de réaliser des transitions énergétiques dans le domaine industriel. Nous ne pouvons pas continuer de rechercher des produits à faibles coût tout en demandant que ces pays réduisent leur émissions. Au-delà de vouloir changer le mix énergétique dans l'industrie, il faut le pouvoir. Dans le cas où l'électricité est produite à l'aide d'énergie fossile cela n'aurait aucun intérêt. De nos jours, c'est le principale moyen utilisé. Toutefois, si nous prenons le cas de la France ou de pays dont les ENR représentent la source première d'électricité, on pourrait y trouver un intérêt. Cependant, on a pu voir précédemment que certaines industries ne peuvent pas passer d'une source d'énergie thermique à électrique. Ça l'est pour les secteurs qui produisent à partir de haute température comme en métallurgie. Les domaines du transport aérien ou maritime font face aux mêmes difficultés. Il ne sera pas possible de les envisager sous propulsion électrique. Pour autant ces secteurs sont à la base de nos économies mondialisées. Des alternatives sont étudiées mais elles restent en phase de développement. C'est le cas notamment des combustibles de synthèses ou bien de l'hydrogène à des fins thermique. Ces technologies ne sont pas matures et demandent du temps afin d'être améliorées. Le risque de ces solutions, c'est une nouvelle fois l'effet rebond. Elles vont demander une nouvelle fois beaucoup de ressources énergétiques à produire. Cette demande devra être assouvie par des moyens de production réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Dans le cas contraire, c'est le serpent qui se mange la queue. De plus, les secteurs comme l'agriculture sont dépendants des ressources énergétiques pour assurer leur rendement. En fonction des producteurs cela peut varier entre 13% et 20%. Les ENR peuvent permettre de couvrir certains besoins dont la production d'électricité et de chaleur à l'aide du biogaz. Cependant, ça ne permet pas de faire diminuer en dessous des 10% la dépendance [Ademe, 2012]. On peut ajouter à cela les potentielles pertes de rendement agricole avec le réchauffement climatique. Des transitions énergétiques sont possibles mais à l'heure pas suffisante pour ne pas



impacter ce secteur d'activité. Dans le cas de la France, cela représente un enjeu important puisque nous sommes le premier producteur européen de blé devant l'Ukraine.

La demande croissante d'énergie se fait en synergie avec le développement économique des pays. De plus, nous avons pu voir que le pétrole n'est une simple ressource exploitée à des fins thermiques. Elle est présente dans la grande partie des produits que nous utilisons et qui pour certains sont indispensables aujourd'hui. On peut se poser la question: pouvons-nous tout simplement continuer de produire et consommer comme nous le faisons. D'après Philippe Charlez, aucun pays n'est cependant prêt à sacrifier sa compétitivité économique pour la lutte contre le réchauffement climatique. Cela peut paraître difficile à entendre dit comme ça. Les événements récents ont montré à quel point la suprématie économique des états les uns envers les autres est importante. La lutte entre la Chine et les Etats-Unis pour être la première puissance économique mondiale est un très bon révélateur. La production des semi-conducteurs est un enjeu majeur de par leur présence dans tous les produits utilisant de l'électronique et le potentiel de développement technologique que cela représente. Les Etats-Unis ont notamment sanctionné les importations de ces produits sur le marché chinois. Tout en sachant qu'aujourd'hui, les semi-conducteurs représentent le plus gros pôle d'importation de la Chine devant le pétrole. La Chine a riposté en s'attaquant à des entreprises américaines présentes sur son territoire. Ces tensions économiques se retrouvent aussi dans des enjeux géopolitiques. Taiwan est le premier producteur de semi-conducteur mais aussi une île revendiquée par la Chine dont le gouvernement s'est allié avec les Etats-Unis. De nos jours, l'économie mondiale est devenue le nouveau champ de bataille où certains pays s'affrontent.

Durant cette partie nous avons pu voir la complexité que représentent les transitions sur l'industrie. Il intéressant de garder à l'esprit que les différentes industries sont de grands pourvoyeurs d'emplois en France et à travers le monde. Si une transition énergétique est réalisée mais que pour des raisons de dépendances à la ressource ou d'efficacité, cela peut avoir des impacts importants sur une économie nationale. Une perte de compétitivité pousse bien souvent à la délocalisation et à la hausse d'importation de produits manufacturés. En France, on observe une volonté

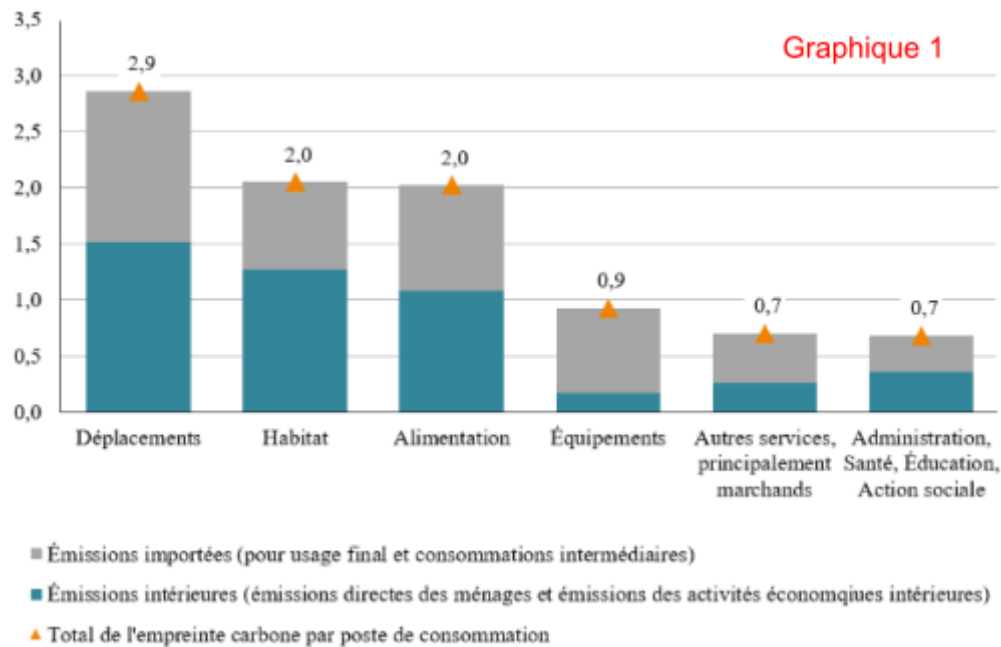
forte de la part du gouvernement de réindustrialiser le pays. Sur la période 2022-2030, ce n'est pas moins de 53 milliards d'euros d'investissement afin d'inciter au développement de l'industrie tricolore. A l'heure actuelle, notre mix énergétique rend notre industrie moins polluante à l'aide du gaz. Cependant cela ne nous rend pas pour autant pas neutre en émissions. De plus, la guerre en Ukraine a mis à jour notre forte dépendance aux importations. De nombreuses entreprises ont dû cesser leur production à cause de la hausse des coûts. Afin de défendre notre industrie française et européenne, Emmanuel Macron a souhaité que l'on ralentisse la réglementation sur les normes environnementales. Nous sommes, d'après lui, déjà plus strictes sur celles-ci que la Chine et les Etats-Unis. C'est bien un dilemme du prisonnier qui s'installe entre les nations. Il faut que tout le monde avance dans le même sens sans quoi nous serons tous perdants.

### 3. Impact sociétal

L'énergie a toujours eu des impacts majeurs sur nos sociétés. Elles ont bousculé nos manières de vivre, de se déplacer et de consommer. Le feu nous a permis d'étendre ce que nous étions capable de fabriquer, manger et explorer. Par la suite, chaque autre ressource énergétique, nous permettra d'aller encore plus loin. Avec le charbon, on voit arriver le transport ferroviaire et l'industrie. Pour notre société moderne, le pétrole sera le catalyseur de transformations majeurs. Avant le train, nous n'aurions jamais pensé qu'il serait possible de joindre Paris-Lyon en moins d'une journée. Avec le pétrole même les rêves les plus fous sont devenu réalisable. Le premier septembre 1902 sort le film "Le voyage dans la lune" du réalisateur Georges Méliès. Il y raconte l'envoi d'un professeur et six astronomes sur l'astre lunaire. Ce n'est que 67 ans plus tard que l'homme pose pour la première fois les pieds sur ce satellite tant observé depuis la Terre. Ce n'est qu'un exemple parmi tant d'autres. Cependant, il illustre à la perfection ce qu'à rendu possible le développement des usages du pétrole.

Lors des différentes parties, nous avons pu nous rendre compte que nous utilisons énormément d'énergie dans notre quotidien. On estime que par an un français en moyenne émet 6,8 tonnes de CO2 issu de la production d'énergie. Ainsi notre mix

énergétique a un impact mais il faut prendre en compte nos importations. Bien souvent, les produits que nous consommons viennent de pays où la part la plus importante du mix énergétique est attribuée aux charbons.



### Données Gouvernementales

Dans le graphique 1, est représentée la part des émissions de CO<sub>2</sub> d'un Français en moyenne sur la période de 2018 par poste de consommation. On s'aperçoit de deux choses. Premièrement, c'est dans chacune de nos habitudes que nous émettons du CO<sub>2</sub>. De plus, près de la moitié de ce que l'on rejette est issu d'importation. C'est à dire, d'émissions liées à la production et transport de nos éléments consommés jusqu'à chez nous. On atteint alors les 9,2 tonnes de CO<sub>2</sub> en moyenne pour un français. Afin d'atteindre la neutralité carbone, nous devrions abaisser ce chiffre à 2 tonnes. Les pays occidentaux se sont habitués à un confort luxueux pendant de nombreuses années. Nous devons réduire nos émissions et cela peut passer par une modification de nos habitudes que ce soit à travers une modification de notre manière de consommer ou d'importations. Comme on a pu le voir, certaines activités comme le fret maritime auront des difficultés à réaliser des transitions. Ainsi une diminution des importations serait bénéfique. Cependant, les transitions énergétiques au sein des mix ont nécessairement des impacts sociétaux. Tout d'abord, on ne pourra pas payer des produits manufacturés aussi peu chers que de nos jours. Lors de la partie précédente, nous avons vu que le prix du gaz est bien plus important que

celui du charbon. Cela impacte nécessairement à la fois les coûts de production et de vente. L'un des aspects intéressant de la hausse des coûts des produits importés, serait un changement de consommation. En effet, cela pourrait rendre plus compétitif les industries nationales et européennes. Pour des raisons évidentes, cela ne rend pas attractif des transitions énergétiques pour ces pays exportateurs. Ainsi de manière globale, les transition énergétique font apparaître des choix sociétaux. Les entreprises et les consommateurs ne pourront pas agir uniquement dans leur intérêt. Une synergie entre relocalisation de moyen de production et une modification de la consommation pourrait avoir de réels impacts économiques et sociaux.

De nos jours, on ne tend pas vers une baisse de nos activités industrielles, alimentaires et commerciales. L'une des raisons est qu'elles nous permettent de continuer de vivre dans le même confort que par le passé. L'autre est que nous en avons tous besoin. On a cessé de dire lors de ce mémoire, que nous vivons dans des environnements complexes. On peut parler à la fois d'environnement socio technique mais aussi socio économique. Au-delà de notre confort, les entreprises du secteur privé emploient près de 75% d'emplois en France soit plus de 20 millions de salariés [Insee, 2020]. Ainsi des restrictions trop importantes sur l'utilisation de ressources énergétiques auraient des impacts sur les structures de coût des entreprises. En France, le salariat représente une part importante de celle-ci. Les conséquences pourraient être une augmentation de la délocalisation et une hausse du chômage. Lors de cette année 2022, la réforme des retraites a énormément fait débat. Nous avons là un exemple intéressant et actuel sur lequel se pencher. En France, le financement des retraites se fait par les cotisations des actifs. Son financement repose en grande majorité sur les cotisations sociales. Elles sont à la charge de l'employeur (60%) et du salariés (40%) pour le secteur privé [données gouvernementales, 2022]. Dans le cas d'une chute d'activité importante et d'une élévation du chômage c'est tout un système qui est alors impacté. Les estimations de réduction de déficit de celui-ci sont en partie basées sur la nécessité d'un certain niveau de croissance. Dans ce passage, mon intention est de mettre en lumière que les bienfaits sociaux dont nous bénéficions sont tributaires d'un certain niveau de croissance économique. On s'en rend bien compte lorsque l'on regarde les principales sources de recette pour l'état. La TVA est en première place, représentant pas moins de 31% des recettes. On retrouve par la suite l'impôt sur le revenu (26%) et sur les sociétés (13%) [données gouvernementales, 2023]. La

bonne santé financière de nos institutions dépend fortement du niveau de consommation et d'activités économiques dans le pays. Cette dépendance à la croissance, nous ne sommes pas les seuls à l'avoir puisque tous les pays en ont besoin pour assurer leur développement.

L'un des enjeux majeurs dans les transitions énergétiques est la diminution des émissions de CO<sub>2</sub>. Afin de réussir cet objectif, les pays doivent constituer des mix énergétiques moins émetteurs. Pour cela, il existe différentes transitions envisageables en fonction des domaines et secteurs d'activités. Pour la production d'électricité, le développement des énergies renouvelables fait relativement consensus malgré la réticence de certaines personnes à l'installation d'éoliennes. En revanche, le nucléaire est un sujet où le débat reste persistant en France et au sein de l'Union européenne. Nous sommes là face à un enjeu sociétal important. La production d'électricité par ce biais est l'une des moins émettrices de CO<sub>2</sub> devant les ENR. Toutefois, il existe une certaine méfiance et peur de cette technologie. La catastrophe de Tchernobyl en 1986, a bouleversé le développement de cette filière dans certains pays. C'est le cas en Allemagne notamment. Suite à l'événement, le parlement décide d'une sortie en 10 ans du nucléaire. Il faudra plus de temps mais les centrales les plus anciennes ferment au fur et à mesure. Cette politique va toutefois changer avec la réélection d' Angela Merkel en 2010. Les réacteurs sont alors prolongés de 12 ans en moyenne. Ce nouvel élan sera de bien courte durée. Le 11 mars 2011, une catastrophe naturelle vient porter le coup de grâce à la filière nucléaire allemande. Un séisme de magnitude 9.1 vient alors provoqué un tsunami qui ira s'écraser sur la côte ouest nipponne. Une centrale nucléaire est située non loin de la ville de Fukushima. Le courant est coupé dans la et les générateurs de secours sont touchés et noyées. Les réacteurs ne peuvent pas être arrêtés. La pression et la chaleur vont augmenter jusqu'à ce qu'une explosion intervienne le lendemain. Cette catastrophe en chaîne achèvera la filière nucléaire allemande avec une sortie finalisée à horizon 2022. Le 15 mars 2023, les trois dernières centrales sont arrêtées. L'Allemagne a composé alors un parc éolien et solaire important. Toutefois, comme on a pu le voir précédemment, ces sources d'électricité sont intermittentes. Sur les plus de 120 GW de puissance installée, il est impossible d'atteindre des niveaux de production d'électricité suffisants. Ce sont donc le charbon et le gaz qui assurent la continuité dans la production. L'impact n'est pas négligeable puisque

l'Allemagne la moyenne d'émission de CO<sub>2</sub> pour la production d'électricité est supérieure aux 400 gCO<sub>2</sub>/kwh. A titre de comparaison, la France émet en moyenne 83 gCO<sub>2</sub>/kwh sur la même période. L'Allemagne aurait joué un rôle dans la décision du gouvernement de François Hollande de réduire l'importance du nucléaire en France. De nos jours, la filière reprend un second souffle avec une volonté forte de réouverture de nouvelles centrales. Le nucléaire reste un sujet faisant débat en France. Lors d'élections présidentielles ce sujet revient régulièrement à la table. Certains candidats mettent en avant cette crainte du nucléaire comme Jean Luc Mélenchon en 2022.

On s'aperçoit que les transitions énergétiques ont des impacts sociétaux forts. Elles font ressortir des enjeux auxquels nous n'avons pas de réponse faisant l'unanimité. Chaque choix entraîne son lot de conséquences. L'immobilisme ne nous fera pas atteindre la réduction des émissions de gaz à effet de serre tout comme se précipiter vers une solution miracle. Il est important d'intégrer cette balance bénéfice/risque dans les choix qui s'offrent à nous. Cette question se pose principalement pour le déploiement du nucléaire. Nous faisons aussi face à un modèle de société qui doit évoluer. Les transitions énergétiques ne suffiront pas à atteindre nos objectifs. La sobriété est un passage obligé pour que nos transitions soient réalisables [RTE, 2021]. Elle doit être le maître mot qui guide nos choix de consommation.

## C. Protection de la biodiversité

### 1. Déclin de la biodiversité

La vie sur Terre n'a pas toujours été simple pour les espèces qui y vivent. Depuis l'apparition de la vie, il y a environ 3,8 milliards d'années, les être vivants ont dû faire face à d'importantes extinctions. De nombreuses espèces n'ont pas pu survivre. La Terre connaît des cycles naturels de refroidissement ou de réchauffement des milieux. La première extinction massive à notre connaissance se serait déroulée 420 millions d'années auparavant. La cause serait dû à une période glaciaire durant laquelle près de 85% des espèces marines auraient disparu. La plus

connue et dernière en date est celle des dinosaures, il y a 66 millions d'années. Durant laquelle 75% des espèces ont disparu notamment dû à une activité volcanique importante et une météorite. Les scientifiques en comptent cinq jusqu'à l'anthropocène.

De nos jours, nous avons recensé pas moins de 1,8 millions d'espèces, dont majoritairement terrestres. Dont seulement 15% proviennent du milieu marin. On estime qu'il y aurait sur la Terre entre 5 et 100 millions d'espèces. L'espèce Humaine est jeune comparée à la naissance des premiers êtres vivants. En peu de temps, nous avons réussi à faire ce qu'aucune autre espèce n'a fait. Nos activités ont impacté de manière significative les écosystèmes mais aussi sur la planète elle-même. Cette période est appelée anthropocène. Ce terme est évoqué pour la première en 2000 par Eugene F. Stoermer et Paul Josef Crutzen respectivement biologiste et chimiste. La révolution industrielle du 19ème siècle en est le début. Nos activités industrielles ont bouleversé la sélection naturelle. Ce processus explique comment une espèce évolue en fonction de son milieu. On part tout d'abord d'un individu. Il a un patrimoine génétique unique ce qui lui a donné la possibilité d'avoir une particularité physique innée (c'est-à-dire non acquise au cours de sa vie). Il peut s'avérer que cette particularité permet à cet individu de survivre plus longtemps et de se reproduire en plus grand nombre. Cet avantage va être en partie transmis à la descendance par le patrimoine génétique. Ainsi en fonction des aléas d'un milieu, certains individus vont mieux survivre que d'autres et donc perpétuer leurs gènes. Les activités humaines ont impacté la nature des environnements. Un exemple très connu est celui des phalènes du bouleau. La production industrielle s'est faite à l'aide de la combustion de charbon. Ainsi d'importantes quantités de fumées et de suies sont relâchées. Les bouleaux vont alors être recouverts d'une couche noire de suie. Sur ces arbres se trouvent souvent les phalènes. Une espèce de papillon nocturne de couleur blanche. Seulement dans les régions fortement industrielles, un papillon de la même espèce mais noir se développe. En effet, celui-ci est mieux camouflé sur les arbres dont la suie recouvre la couleur blanche du bouleau. Ils prolifèrent plus rapidement ce qui rend le gène majoritaire dans l'ensemble de l'espèce proche des lieux industrialisés. Ce phénomène de sélection naturelle est indéniable mais d'autres facteurs ont pu jouer. Dans ce cas là, les activités humaines ont impacté le développement d'une espèce. Cependant, ce n'est qu'un moindre mal comparé à l'extinction massive que l'on observe de nos jours. On estime que 2,5 millions

d'espèces ont disparu à cause de l'Homme. De plus le rythme des disparition est de 100 à 1000 fois plus rapide que les processus d'extinction dont nous avons parlé précédemment. Il aura fallu des milliers d'années pour voir les dinosaures disparaître, tandis que nous l'avons fait en l'espace de 2 siècles. Les scientifiques vont même jusqu'à parler d'une sixième extinction de masse.

Lors des parties précédentes, nous avons évoqué les notions de système et d'environnement socio-technique. L'objectif était de montrer que les acteurs sont reliés entre eux et interagissent ensemble. Un écosystème repose sur le même principe. C'est un environnement où différentes espèces vivent et interagissent entre elles. Ainsi lorsqu'il y a des bouleversements dans cet écosystème, ce sont l'ensemble des espèces qui sont touchées. Les activités humaines ont des impacts majeurs que ce soit dans les milieux marins ou terrestres. La déforestation ou la pollution des océans détruisent des écosystèmes entiers. C'est le cas pour les coraux. Ils représentent des lieux importants pour la faune et la flore aquatique. On les considère comme les écosystèmes les plus riches de la planète. Le plastic a des effets nocifs sur les poissons qui les ingèrent. De plus, sa dégradation libère des toxines dans les océans. Cette pollution plastique est tellement importante dans le pacifique que nous l'appelons le huitième continent. De manière générale, les émissions de gaz à effet de serre impacteront tous les écosystèmes dans les prochaines décennies. Certains milieux ne sont plus vivables tandis que d'autres vont perdre une grande partie de leur diversité. Nous avons même détruit des écosystèmes en important des espèces dans de nouveaux milieux dans lesquels elles ont bouleversé la chaîne alimentaire. Un tel changement peut conduire à la disparition d'être vivants.

Ainsi, le déclin de la biodiversité n'a jamais été aussi rapide que durant l'holocène. De plus, le phénomène risque d'empirer avec le réchauffement climatique. L'aspect systémique des écosystèmes, fait qu'une modification engendre des réactions en chaîne aggravant la situation.

## 2. Une vision à long terme ?



L'humanité fait face un défi de taille pour sa survie et celle des autres espèces. Nous devons lutter afin de limiter les impacts du réchauffement climatique. En atteignant notre objectif, on permettrait de réduire le nombre de disparition d'espèces. Ça ne suffira malheureusement pas puisque de nos jours ce sont nos activités dans leur ensemble qui impactent la faune et la flore.

La destruction d'écosystème n'est pas seulement une catastrophe pour les autres espèces. Elle nous touche aussi directement et désaprésent. Tout d'abord, cela impacte nécessairement nos accès aux ressources alimentaires. La disparition d'espèces halieutiques va fortement toucher les populations dont c'est la principale source de nourriture. On estime qu'entre 2017 et 2019, le nombre de bassin halieutique surexploité est en hausse 1,2%. Le risque est que ces espèces sur pêchées ne puissent se reproduire en quantité suffisante afin de perdurer. Cela pousse notamment à l'élevage dont le secteur est en croissance de 6% entre 2018 et 2020.

Un autre aspect négatif de la destruction des écosystèmes est voué à tendre vers la hausse. Lorsqu'un milieu est détruit les animaux le constituant migrent. La présence humaine étant de plus en plus généralisée sur la terre, on augmente alors les zones de contacts. L'un des risques a cela c'est la transmission de maladie. Les écosystèmes limitent la diffusion d'un pathogène. En effet, il a plus de chance de se développer chez une espèce sauvage qui ne pourra pas le transmettre à l'Homme. Cependant la perte de diversité va jouer négativement sur cet effet dit "cul de sac". De plus, nous avons augmenté de manière considérable l'élevage. Ce qui, une fois combiné avec la destruction des écosystèmes, rend les points de contact avec les milieux naturels plus fréquents. La transmission de pathogène aux bétails puis à l'humain est alors facilité. On estime que 60% des maladies infectieuses sont issus des animaux vertébrés vers l'Homme. Elles représentent aussi 75% des nouvelles maladies [Ministère de la transition écologique, 2021]. Dans une économie mondialisée, les échanges vont alors permettre de répandre plus rapidement qu'auparavant les maladies. La pandémie du Covid-19 a été un excellent rappel à ce sujet.

Ce qui peut sembler être un objectif long terme après la lutte contre le réchauffement climatique, est finalement déjà présent. Nous tentons de répondre un défi après l'autre seulement il est nécessaire d'insérer la biodiversité dans l'étude des solutions à mettre en place. Le déploiement des énergies renouvelables est un bon exemple.

Si l'on devait égaler la puissance du parc nucléaire Français et celle de l'éolien, il nous faudrait pas moins 80 000 éoliennes. Cela implique nécessairement une répartition plus importante sur le territoire de moyens de production. Nous renforçons donc notre présence dans les milieux naturels, notamment en mer. Les barrages ont eux aussi des impacts sur la biodiversité. Ils peuvent bloquer les passages d'espèces migratrices. La stagnation de l'eau fait qu'elle peut se réchauffer que ce soit en aval ou en amont. Cette hausse de température est parfois nuisible pour les espèces d'eaux froides. Certains barrages amassent de grandes quantités de sédiments. On doit les exporter afin de les stocker. L'extraction perturbe fortement la faune aquatique[Hervé Piégay, 2013]. Le nucléaire n'est pas non plus exempt de tout reproche. Il émet en effet très peu de CO<sub>2</sub> comparé aux autres énergies. Cependant, certaines particules radioactives peuvent avoir des durées de vie longue. Lors d'une catastrophe nucléaire comme Fukushima, des espaces entiers sont contaminés. D'après les études menées par le CEA, la durée de vie du Césium 137 peut aller jusqu'à 30 ans. En l'absence de décontamination, cet élément radioactif restera présent pendant au moins 3 siècles.

Lorsqu'une décontamination est réalisée, il faut par la suite stocker d'importantes quantités de déchets. C'est sans compter une destruction de la biodiversité. Dans le cas d'un démantèlement d'une centrale nucléaire, il faut compter entre 20 et 30 ans afin que le terrain soit de nouveau exploitable.

La protection de la biodiversité passe souvent au second plan après les transitions énergétiques. Cela s'explique notamment parce qu'elles représentent des enjeux court et moyen terme pour nos sociétés. Ils sont d'ordre social, économique mais aussi géopolitique. Cependant, cette partie tend à montrer que nous ne pouvons reléguer trop loin, le problème de la perte de la biodiversité. Au-delà de l'extinction massive d'espèces, les conséquences de la destruction des écosystèmes nous impactent directement et dès aujourd'hui. Les transitions doivent d'ores déjà prendre en compte la protection de la biodiversité dans leur développement. Pour l'aspect énergétique cela peut passer par l'utilisation de terrain déjà occupé par l'Homme et privilégié des matières biodégradables. Le développement des ENR et du nucléaire en France doit être pensé de sorte à réduire leur impact sur les écosystèmes. De manière générale, ce sont nos activités qui doivent être repensées. Si nous gardons cette vision long terme de ce problème, on risque un effet en cascade d'enjeux à résoudre.

### III. Conduite de projet d'innovation en période de transition énergétique

#### A. Caractéristique de gestion de projet d'innovation

##### 1. Gestion de projet

L'être humain a quelque chose en lui qui lui donne cette volonté de grandeur. Quelle que soit la raison qui nous pousse à agir de la sorte, des merveilles ont été accomplies. Les pyramides Égyptiennes ou Aztèques en sont de parfaits exemples. La preuve en est que de nos jours ces ouvrages sont encore debout au milieu du désert et de la forêt. Les Européens ont construit des navires capables de traverser l'Atlantique et de rejoindre les pays parmi les plus éloignés du globe. Pour qualifier ces épopées, c'est le terme « entreprise » qui est utilisé. Il désigne alors une aventure ou un voyage dont l'objectif est noble [Blanche Segrestin, Armand Hatchuel, 2012, p22]. Ces réalisations démontrent des capacités d'organisations impressionnantes. Elles ont nécessité des gestions financière, humaine et du risque. On retrouve des éléments que compose une notion bien connue et étudiée de nos jours, celle du projet. Le concept derrière ce mot n'est pas moderne comme on peut s'en apercevoir. Le terme de projet apparaît au XV siècle. C'est une idée que l'on met en lumière et dont on planifie la réalisation. Cette définition sous-tend la notion moderne de projet.

La révolution industrielle conduira à de nombreuses études sur les manières de produire. L'ingénieur Frederick Taylor propose une méthodologie dite « scientifique » de la production. Elle repose sur une division par tâche du travail contrairement à celle par métier par le passé. Les différentes étapes de la production sont chronométrées. Cela permet de mieux gérer la productivité des ouvriers. Cette méthode sera mise en application à la fin du XIX siècle. Henry Ford l'utilisera comme base pour la fabrication de ses voitures. Le fordisme ira cependant plus loin avec une production dite à la chaîne. On verra par la suite l'émergence du Toyotisme dans les années 70. Ces méthodologies sont liées à l'opérationnalité de processus de

production. Cependant, les opérations touchent les activités de vente, gestion financière et administrative. Elles sont les sources principales d'études jusque dans les années 80. La méthodologie dite de projet est différente dans son approche puisqu'elle s'intéresse à l'amont. C'est une phase principalement de conception et de développement d'une idée. Les caractéristiques du projet sont différentes de celles des opérations. Tout d'abord, la durée de vie de celui-ci a pour objectif d'être finie. L'opérationnalité d'un processus se veut permanent et le plus stable possible afin d'assurer une continuité dans les activités. De ce fait, la structure organisationnelle d'un projet est différente. En fonction de celui-ci, nous ne sommes pas amenés à travailler avec les mêmes personnes et sur de plus courte période. Une fois développée, la solution devient alors réalisable de manière répétée. La répétition de manière efficace d'une solution demande une certaine standardisation de la méthodologie. Cela s'oppose avec l'idée même d'une gestion de projet qui nécessite un certain degré de liberté. Pour finir, l'une des principales différences se trouve dans la possibilité d'un non-aboutissement. De manière générale, la gestion de projet coûte alors plus cher que ce qu'elle ne génère. C'est l'opérationnalité de celle-ci qui permet alors un retour sur investissement [Garel Gilles, (2011)]. Pour finir, le risque est une variable importante qui les différencie. Le projet va évoluer en fonction de son environnement contrairement aux opérations qui doivent être protégées de l'extérieur. Bien qu'ils soient différents les gestions dite de projet et opérationnelle ne s'opposent pas dans leur application. Le premier va se situer en amont du second. De sorte que lorsque le projet est abouti et qu'il a fait ses preuves, il peut alors passer en phase d'opérationnalité. Il est d'ailleurs important d'intégrer lors de la conception, la transition entre les deux phases. Dans le cas contraire, cela aura des impacts sur l'applicabilité du projet et de potentiel retour sur investissements.

La notion de gestion de projet va connaître un essor important à partir des années 80. Les entreprises sont arrivées à un palier sur l'amélioration des opérations. La gestion de projet va permettre de développer des solutions nouvelles et plus complexes. Cela en un laps de temps moindre qu'auparavant. Ce sera le cas notamment avec l'utilisation de méthodes issues de la gestion opérationnelle. En effet lors d'une mission d'optimisation de la production, un ingénieur s'aperçoit que les tâches sont reliées entre elles ce qui fait naître des dépendances dans l'avancement des processus. On voit ici apparaître ce que nous connaissons sous le nom de diagramme de Gantt. Par la suite, la technique sera combinée avec une

analyse matricielle permettant d'établir un chemin critique. Il rassemble l'ensemble des tâches qui lors d'une augmentation de durée de l'une d'entre va alors entraîner une hausse au moins égale à celle du projet. Cela permet alors d'indiquer les tâches dont la surveillance se doit d'être accrue. On appelle cela la méthode PERT. Ces deux méthodologies ont été appliquées pour la gestion de projet afin de permettre de garder un certain contrôle sur les délais. La marine américaine les emploie en 1958 pour un projet du nom de Solaris. Ils estiment avoir gagné près de 2 ans [Jean Jacques Néré, (2021)]. Dans les années 1960, un outil commence à se répandre. Le modèle SWOT a pour objectif de prendre du recul sur les caractéristiques d'une entreprise. On va s'intéresser de manière la plus objective possible sur les forces, faiblesses et menaces qui pèsent sur l'organisation. On regarde aussi les opportunités sur lesquelles on pourrait se projeter. Cette vision est intéressante dans la mesure où l'on prend conscience de l'importance de l'environnement externe sur l'entreprise. On commence à entrevoir le début d'une vision systémique. Ainsi lorsqu'un événement a lieu dans l'environnement de l'entreprise cela peut impacter son activité, mais aussi représenter la possibilité de répondre à un nouveau besoin [Pierre Paul Morin, (2008)]. Ces outils sont très répandus et encore aujourd'hui. Ils sont toujours enseignés dans les établissements publics et privés.

Ces outils de gestion s'inscrivent eux même dans différents modèles d'organisations de projet. L'association Project Management Institute met en place dès 1960, une structure de gestion standardisée. Les projets sont planifiés et décomposés par tâches. Afin de limiter le risque et les surcoûts, le pilotage est assisté d'indicateurs de performance. Ils jouent un rôle important dans le recadrage ou l'abandon du projet en fonction des écarts constatés avec les normes initialement prévus en amont. Certaines organisations de projet se font sur un modèle dit séquentiel. Ainsi, chaque tâche d'un projet demande une expertise. On fait intervenir les experts sur les différents métiers de manière successive. Cette forme d'organisation montre des limites lorsque les délais se raccourcissent notamment à cause du manque de synergie entre les différents acteurs. De plus, les projets se succèdent sans nécessairement impliquer les acteurs dans la suite des réalisations. Cela impacte nécessairement les niveaux d'implications et de prise de responsabilité de leur part. Ces effets négatifs conduiront au développement du modèle d'ingénierie concurrente puis à sa substitution avec le modèle séquentiel [Garel Gilles, (2011)].

Contrairement à son prédécesseur, l'objectif est d'établir une équipe transversale impliquée du début à la fin du projet. Ce type d'organisation de projet permet une meilleure implication des équipes. La responsabilité de la gestion est quant à elle assurée par un chef de projet, qui se réfère lui-même à un sponsor. Bien souvent, une personne hautement placée dans la hiérarchie est capable de défendre le projet. Cette structure sera considérée comme une révolution managériale à la fin des années 80. On pourra retrouver dans la littérature pléthore de méthodes d'organisation. Elles sont les plus utilisées et en ont inspiré d'autres par la suite.

Ces méthodologies bien que différentes, elles ont cependant des points communs. En effet, peu importe la gestion de projet, il est soumis à des contraintes. On a pu voir précédemment que nous sommes dans une phase de développement. Cela induit l'existence de contraintes qui vont alors dépendre de chaque projet. Tout d'abord, elles peuvent être fonctionnelles. C'est-à-dire identifier comment répondre au besoin. Par la suite, il faut que la solution soit réalisable techniquement, fiable et intuitive pour l'utilisateur final. Un projet se réalise généralement en un temps donné. Cette contrainte est définie en amont et peut éventuellement entraîner des pénalités. Afin de développer une solution, il est impératif d'allouer des ressources financières. Elles peuvent à minima être représentées par les salaires des personnes travaillant à sa concrétisation. Ainsi, dans le cas où un projet ne permettrait pas de respecter ces contraintes, il ne pourra passer en phase d'opérationnalisation. Cela représente l'un des risques principaux en gestion de projet. Lors de cette phase, le cash flow est négatif ce qui représente une perte sèche en l'absence de retour sur investissement. Afin de limiter ce risque, les méthodologies précédemment vues mettent en place des jalons entre les différentes phases. De sorte que si l'on s'aperçoit que le projet ne respecte pas les spécifications fonctionnelles et techniques, les délais ou bien les budgets initialement prévus, il est encore possible de l'arrêter.

De nos jours, la gestion de projet est très répandue. C'est un moyen identifié comme étant un levier important de transformation des organisations [Garel Gilles, (2011)]. On observe de réels changements dans la manière de concevoir l'organisation d'un projet. C'est notamment le cas dans la création d'équipe pluridisciplinaire où les acteurs sont en interaction. Chacun possède alors un rôle pour la durée du projet qui va lui permettre d'intervenir sur différentes tâches. Ce mode de gestion permet de

nombreux bienfaits tels que la motivation, l'engagement et la prise de responsabilité quant à la concrétisation du projet. Une fois celui-ci fini, les liens créés permettent de faciliter de potentiels échanges entre les services.

La discipline va se développer en synergie avec l'apparition d'outils. Certains outils permettent une analyse de l'entreprise et de son environnement. On s'aperçoit alors qu'il est en perpétuelle évolution. On voit ainsi apparaître des opportunités naissantes, mais aussi des menaces sur nos activités déjà existantes. D'autres outils issus des activités opérationnelles, vont permettre de structurer la gestion des projets. Cependant, elle ne peut pas être menée efficacement sans une volonté forte d'y allouer des ressources. Celles-ci peuvent être à la fois financières, humaines, et techniques. Toutefois, elles ne sont pas toujours toutes disponibles en interne. Il faut parfois aller les chercher à l'extérieur de l'organisation auprès de cabinets de conseil et d'organismes financiers.

## 2. L'innovation

Les êtres vivants font souvent preuve d'ingéniosité. On peut prendre l'exemple de l'oiseau qui va lâcher la noix depuis le ciel afin de casser la coque. Le corbeau est capable d'utiliser un outil primaire afin de récupérer ce qui l'intéresse. Les animaux peuvent fabriquer des nids ou bien des barrages pour les castors. Cependant, l'espèce humaine est celle qui est allée le plus loin à ce jour dans la notion de création. Nous sommes capables de mettre au point des systèmes complexes faisant intervenir des milliers d'éléments eux-mêmes composites. L'être humain peut à partir d'une idée ou d'une intuition, inventer. C'est-à-dire mettre au point un objet, une méthode, un concept, une structure d'organisation qui n'ont par le passé encore jamais vu le jour. Les champs d'application de l'invention sont divers et n'ont de limites que notre imagination. Toutefois, lors de cette partie, nous parlerons d'innovation. Ce mot tire son origine du latin "innovatio, innovare" courant du XIIIème siècle, dont la signification serait proche "nouveau ou neuf". Quelle différence pouvons-nous donc faire entre ces deux termes que sont innovation et invention ?

C'est Joseph Schumpeter qui répondra à cette question lors de la publication de ses analyses. Le célèbre économiste décrit alors une différence nette entre les deux

notions. L'innovation correspond à la mise sur le marché et à son acceptation par celui-ci d'une invention. Ainsi, il ne suffit pas de créer quelque chose de nouveau pour que cela soit considéré comme innovant. Toute la complexité d'une innovation se trouve là. Le propriétaire de l'invention doit être capable de cibler un besoin auquel il répond. Il faut ensuite que par les usages, l'invention devienne une évidence pour l'utilisateur. Toutefois, il n'est pas certain qu'une fois ces critères remplis l'invention passe au stade de l'innovation [Norbert Alter, 2000 : 8-9]. La notion de timing est importante. Ce qui d'ailleurs explique que ce ne sont pas toujours les inventeurs qui réussissent à atteindre ce stade de développement. Il ne suffit pas que l'invention réponde à un besoin ou qu'elle soit nettement meilleure que la solution présente sur le marché [Norbert Alter, 2000 : 13]. En effet, lors des parties précédentes nous avons vu la notion d'environnement sociotechnique. On retrouve là un système dont les acteurs sont liés par des relations sociales, économiques et culturelles autour d'une technique. Ce sont ces relations qui peuvent freiner l'intégration de l'invention dans le milieu. Tout cela en dépit même du fait qu'elle puisse être profitable. Un bon exemple est celui de la pompe à feu pour l'extraction des inondations dans les mines de charbon. On a pu voir lors de la première partie de ce mémoire que cette technologie s'est rapidement développée au Royaume-Uni dès le début du XVIII siècle. Cependant, ça ne s'est pas répandu aussi aisément en France à cette même période. L'environnement sociotechnique de l'époque ne le permettait pas. Les raisons étaient principalement économiques et techniques. L'utilisation des attelages représentait une technique bien connue et moins coûteuse qu'un système de pompe à feu. Il faudra attendre la fin du XVIII pour qu'elle se répande dans le système productif Français. Ce cas démontre aussi qu'en fonction des environnements sociotechniques, une même invention peut rester à ce stade dans un pays et dans un autre devenir une réelle innovation.

On peut distinguer deux grands types d'innovations que sont celles de rupture et incrémentale. La première est une solution nouvelle qui en répondant au besoin ciblé va alors créer un nouveau marché. C'est une stratégie dite "océan bleu". L'entreprise détentrice de cette innovation représente alors le seul acteur du marché qu'elle vient de créer. Ainsi, il n'y a pas de concurrence puisque aucune offre ne répond à votre proposition de valeur. On peut prendre l'exemple du premier Iphone. On voit l'apparition d'un nouveau produit permettant à la fois d'appeler, d'écouter de la



musique, de se connecter à internet et même de prendre des photos. Par le passé, il fallait plusieurs appareils afin de répondre aux différents usages. On voit alors apparaître un nouveau marché qu'est celui des smartphones. L'iphone n'est pas le premier, mais c'est toutefois celui qui propulsera la tendance. Les innovations incrémentales quant à elles répondent à un besoin sans toutefois créer un nouveau marché. C'est le cas de la plupart des améliorations de produit ou de service incorporant un élément nouveau qui sera par la suite considéré comme essentiel. C'est une stratégie dite "océan rouge". La proposition de valeur du produit permet de se différencier seulement, on fait toujours face à la concurrence présente sur notre marché. Il existe alors une grande différence entre ces deux typologies. Elle réside dans l'incertitude. Dans le premier, nous avons une invention dont le marché ne connaît pas l'existence. On répond à un besoin sans même que celui-ci ne soit forcément explicite. Le risque que le produit ne soit pas accepté est alors important pour l'inventeur ou l'entreprise. Une innovation incrémentale représente un niveau d'incertitude moindre comparé à celle de rupture. Cependant, cela reste plus important que dans le développement d'un projet classique. A titre de comparaison, les projets d'innovations affichent des taux d'échecs de l'ordre de 50% à 70% [Richard Soparnot, Eric Stevens, Alter, 2007: 8]. Pour expliquer ces niveaux d'incertitudes, on peut prendre un exemple simple. Nous souhaitons rejoindre un point de vue sur la ville de Grenoble afin d'observer le coucher de soleil. Pour cela nous devons passer par la forêt. Nous marchons ainsi sur le sentier afin de nous y rendre. Soudain, le chemin se sépare en deux voies. On peut alors prendre celui de droite qui nous conduit directement à l'endroit voulu. L'alternative de gauche, nous permet d'atteindre l'objectif, seulement le relief escarpé rend la balade plus longue et difficile. Il est possible que lors des premières fois on se trompe de chemin et l'on se trouve à prendre celui qui nous retarde. Par effet d'apprentissage, nous finissons par ne presque plus faire l'erreur. Ce cas correspond à de la gestion de projet tout à fait classique. L'incertitude sur les choix à prendre s'amointrit au fur et à mesure que l'information est connue et transmise. Il existe cependant un autre cas dans lequel, nous marchons puis d'un coup le sentier s'arrête. Malgré tout, nous voulons nous rendre à ce point de vue. Il faut alors prendre la décision d'avancer dans une direction sans pouvoir avoir la moindre indication. Nous n'avons pas de garantie d'atteindre notre objectif à l'heure pour voir le coucher de soleil tout comme il est possible que nous ne l'atteignons jamais. Ce cas correspond à celui d'une solution

innovante. L'incertitude fait partie intégrante de tous les projets mais elle est particulièrement impactante lors du processus d'innovation. Il y a de nombreuses raisons à cela. Tout à d'abord, il n'y a pas de garantie quant à la réalisation technique de la solution. Il n'est pas non plus certain qu'elle répondra au besoin exprimé lors de sa sortie. Nous sommes dans des environnements mouvants. Le besoin du marché à l'instant t n'est pas nécessairement celui qui correspond à la solution finalement proposée. Le passage d'une invention à l'innovation ne peut être garanti, c'est notamment ce qui rend le processus très coûteux.

Certaines approches permettent toutefois de réduire l'incertitude. La phase d'initiation va alors jouer un rôle important. Le début d'un projet ou d'une invention peut venir d'un développement de connaissance ou de compétence dans un domaine. Il est ensuite développé de sorte à répondre à de potentiels besoins. On parle alors d'innovation dite "push". C'est souvent le cas dans des domaines technologiques. L'inconvénient de cette façon de faire, est qu'elle n'assure pas la réponse à besoin ce qui augmente l'incertitude quant à son passage comme innovation. Les inventions dites "pull" sont elles dans l'optique inverse. On s'intéresse avant tout à l'écoute des besoins pour par la suite trouver une solution y répondant. Cela permet de réduire les risques sans toutefois être une assurance de succès. On retrouve ces démarches dans la gestion de projet plus classique. Une démarche Top down est un processus où le projet est initié par les instances dirigeantes puis descente vers les autres salariés. Cela correspond à l'innovation push. Dans le cas d'un projet initié par un besoin exprimé des salariés vers une volonté d'y répondre par le top management, on parle alors de projet "Bottom-up". Cette démarche correspond à l'innovation pull vue précédemment. De la même manière, l'initiation d'un projet partant d'un besoin à plus de chance d'atteindre sa cible.

Innover est un mot que l'on entend régulièrement au sein des entreprises, dans les médias ou dans les slogans publicitaires. L'innovation tire sa popularité de son impact sur les organisations, les sociétés et sur l'espèce humaine. Nous ne serions pas à ce niveau de développement sans ce long processus. L'innovation permet une amélioration des connaissances techniques, sociales, médicales, scientifiques et tant d'autres. Cela nous conduit irrémédiablement vers la notion de progrès. Cependant,

l'innovation est ni bonne ni mauvaise en soi. La manière dont elle est utilisée va alors influencer sur les progrès apportés par celle-ci. Bien que quelque peu caricatural, le missile V2 en est un exemple parfait. Lors de la Seconde Guerre mondiale, l'Allemagne Nazie développe de manière considérable son armement. L'ingénieur Wernher von Braun sera le principal protagoniste de la fabrication du V2, le premier missile balistique. Son utilisation n'aura pas l'impact escompté cependant les technologies et compétences développées en auront dans un autre domaine. La seconde guerre mondiale s'achève avec la défaite de l'Allemagne. Les Etats-Unis récupèrent quant à eux de nombreux scientifiques allemands, dont Wernher von Braun. Ses connaissances du V2 lui permettront d'être choisi pour faire partie de l'équipe d'ingénieurs sur les missions spatiales des américains. Celui qui était à l'origine le premier missile balistique deviendra l'architecte du succès de la mission Apollo 11 en 1969. Le tout en se basant sur la même technologie développée 25 ans plus tôt. Il existe d'innombrables exemples qui nous permettent d'établir que l'innovation n'est pas toujours signe de progrès pour les sociétés.

En revanche, pour les organisations, l'innovation représente un facteur majeur de développement. Comme on a pu le voir précédemment lorsque l'invention passe au stade d'innovation, cela permet d'être alors l'acteur majeur d'un nouveau marché. L'entreprise possède alors un avantage conséquent sur de futurs concurrents. Elle peut alors contrôler plusieurs facteurs qui deviendront nécessaires pour un nouvel entrant afin de devenir compétitif. Ils dépendent de chaque secteur d'activité. Ces facteurs sont liés à la structure interne des entreprises que ce soit le système de production, de distribution et d'organisation. Ils caractérisent des besoins techniques et des compétences humaines spécifiques à l'industrie en question. La capacité de l'entreprise à répondre aux attentes des clients en fait aussi partie. Ils sont appelés "facteurs clés de succès". Leur maîtrise permet à l'organisation d'installer des barrières à l'entrée du nouveau marché dans le cas d'une innovation de rupture. Dans le cas d'une innovation incrémentale, cela permet d'acquérir l'un des facteurs. L'entreprise peut alors obtenir des parts de marché plus importantes ou solidifier ces acquis face à ses poursuivants. Le retour sur investissement d'une innovation peut être alors très important ce qui la rend très attractive. C'est ce qui pousse les entreprises à investir fortement sans avoir de garantie. De la même manière que dans la religion, certains auteurs parlent même d'une croyance en l'innovation [Norbert Alter, 2000 : 33].

On a pu voir précédemment que l'innovation est un processus complexe dont l'issue est incertaine. Ce n'est toutefois pas la seule implication. Lorsqu'une invention bouscule un environnement socio-technique ou socio-économique, cela implique des changements profonds de ces structures. Par essence, ces bouleversements ne sont ni bons ni mauvais. Ils vont impacter des acteurs de manière hétérogène en fonction de leur dépendance avec l'ancienne structure. De manière générale, l'être humain préfère la routine dans laquelle il est. Cela, lui confère une certaine stabilité procurant un sentiment rassurant [Norbert Alter, 2000 : 122]. Les changements provoqués peuvent alors générer une résistance freinant le développement d'une invention. Ce phénomène est appelé "résistance aux changements". Il est nécessaire d'accompagner les acteurs impactés par cette transition. La gestion de projet plus classique n'est pas exempte de ce phénomène. Cependant, une prise en compte dès l'origine d'un besoin exprimé (innovation pull, projet bottom-up) permet de réduire le phénomène de résistance aux changements. Toutefois, l'innovation reste un processus pouvant être destructeur peu importe l'accompagnement réalisé. Joseph Schumpeter l'explique en disant que l'innovation ne vient pas de l'ancien mais apparaît à côté. L'invention se développe pour devenir une innovation tuant au passage l'ancien modèle. Il nomme ce processus la création destructrice. Ce phénomène est indéniable et ce doit être pris en compte. Depuis que l'Homme innove, ce sont des métiers et des entreprises qui disparaissent pour laisser leur place. Dans certains cas, les structures s'adaptent et changent dans le cas contraire elles finissent par mourir. Cette peur est souvent retranscrite dans la science-fiction à travers l'intelligence artificielle et la robotique. L'humain réalise sa plus belle création qui finit par le remplacer. Notre développement nous a permis de nous défaire de mécanismes tels que la sélection naturelle. Cependant, nous l'avons reproduit dans le monde économique, via l'innovation.

## B. Gestion de l'innovation chez TotalEnergies

### 1. L'innovation au sein du CG

Lors de la partie précédente, nous avons pu nous apercevoir de l'importance du rôle de l'innovation pour les entreprises. La mise en place de projets d'innovation peut permettre le développement de nouvelles activités et ainsi générer d'importants retours sur investissement. La croissance des activités tant recherchées par les entreprises est dépendante de leur capacité à innover. Pour ces raisons, l'innovation est représentée dans certaines PME. On la retrouve plus globalement dans les ETI et grandes entreprises en France. Il est fréquent que l'innovation soit associée au pôle R&D. Cette association permet d'imaginer la stratégie mise en place. Comme on a pu le voir précédemment, cela correspond à une vision push de l'innovation.

Au sein du Commerce Général, l'innovation est gérée par le pôle Stratégie-Étude-Optimisation (SEO). L'équipe se compose d'une responsable ainsi que d'un alternant. Nous avons pour mission de coordonner et gérer les projets d'innovation qui seront par la suite diffusés au sein des filiales. Le pôle est transversal sur l'ensemble des activités du CG. Les projets d'innovation peuvent porter sur les activités pétrolières, l'hydrogène et la biomasse. Nous travaillons aussi fréquemment avec le service marketing et logistique pour la mise en place de nouveaux produits et services. Afin d'assurer la gestion de projet depuis le siège, des correspondants sont attirés aux différentes filiales de proximité que sont TPNO, TPNE, TPSO, TPSE. Ces correspondants ont plusieurs responsabilités. Tout d'abord, ils permettent de relayer les informations de la filiale vers le siège et inversement. Il est important pour nous de les avoir pour point d'appui afin de faire remonter les besoins et difficultés rencontrés. Le pôle innovation organise tous les ans un challenge pour sélectionner par la suite des idées et problématiques auxquelles nous devons répondre. Dans un second temps, les correspondants s'assurent de l'avancement des projets sur le terrain. Cette partie est une fois de plus essentielle pour nous sans quoi nous naviguons à l'aveugle. Les relations entre les correspondants innovations et le siège sont d'une importance capitale pour la bonne conduite des projets.

De par la nature même de nos activités, l'innovation au Commerce Général fait face à de nombreux enjeux auxquels nous nous devons de répondre. La problématique principale est liée à la réduction de nos émissions de GES. Aujourd'hui, il existe une méthode qui permet de les découper en "scope". Le premier regroupe l'ensemble des émissions liées à la fabrication des produits vendus. En ce qui nous concerne, c'est notamment les GES rejetés lors du raffinage et de la production des produits que nous vendons. Le second scope prend en compte l'ensemble des énergies consommées afin de gérer nos activités. C'est notamment le cas de l'électricité utilisée pour la lumière, le chauffage, la production. Le dernier scope regroupe quant à lui les émissions restantes liées au cycle de vie des produits que nous vendons. Cela prend en compte l'approvisionnement, le transport et la consommation du produit. Aujourd'hui, le Commerce Général a pour principal objectif de réduire ses émissions sur les deux premiers scopes. Le dernier représente la part la plus importante des rejets de GES pour l'entreprise. Afin de réussir à baisser les émissions liées au scope 3, il nous faut pour cela réaliser une transition énergétique des produits que nous vendons. Comme nous avons pu le voir lors des parties précédentes, ces transitions sont complexes. Or, nous sommes très dépendant de la vente de produit pétrolier tel que le fioul lourd pour l'industrie et l'agriculture ou bien du fioul domestique vendu au particulier. Ces ventes représentent une part importante du chiffre d'affaires du commerce général. Il n'est plus possible d'installer de chaudière à fioul en France depuis 2022. Si l'on ne trouve pas d'alternative, une baisse du chiffre d'affaires est alors inévitable. Les impacts sont importants et vont au-delà de la vente du produit. Ce sont toutes les expertises dans les installations, entretiens et remplacements qui sont touchées. Le CG gère des services associés à la vente de produits comme l'assistance de chauffagistes.

L'innovation peut avoir un rôle important dans ce contexte. En tant qu'énergéticien, la réduction des émissions de CO2 représente un double enjeu. Afin de réduire les émissions du scope 3, il est nécessaire pour TotalEnergies de développer de nouveaux produits et services. Les transitions au sein du mix énergétique en France, ont un impact important sur les activités du CG. La production d'électricité en France est déjà représentée par un acteur majeur qu'est EDF. Il est donc peu intéressant de développer des activités de production d'électricité. Au sein du Commerce Général, l'équipe SEO prend très au sérieux ces problématiques. Les solutions identifiées sont

orientées vers la distribution de produits issus de la biomasse solide avec le pellet. La filière connaît un développement important dans le nombre d'équipements vendus comme les poêles et chaudières. La demande de produits est en constante hausse également. Le pellet représente une alternative intéressante aux chaudières fioul et gaz. Aujourd'hui, la principale production de pellet se fait à l'aide des déchets émis par les scieries. Le développement de la filière rend cependant intéressant la production à partir de la matière première. La forêt croît de 0.7% par an et nous n'utilisons que 50% de celle-ci. Ainsi à l'heure actuelle, il n'y a pas de phénomène de déforestation lié à la coupe de bois. Cependant, il ne faut pas que les activités prennent une ampleur trop importante avec une demande supérieure au 0,7% de croissance annuelle. D'un point de vue émission de GES, cette solution est intéressante. Le rendement énergétique d'un poêle est compris entre 50% et 90%. De plus, pour produire l'équivalent d'un 1kwh, la filière émet 15 fois moins de CO2 sur tout le cycle. L'innovation n'est pas sur le produit en tant que tel puisqu'il est présent sur le marché depuis un moment. Cependant, notre pôle s'intéresse à la diversification des sources de matières premières permettant de produire du pellet. Afin de rester dans une optique de réduction d'émission, nous avons ciblé l'utilisation de déchets issus de l'agriculture ou de l'élagage. Des innovations incrémentales sont réalisables dans ce domaine. On observe d'ailleurs que de nombreuses start-up se sont lancées sur cette voie. Nous travaillons aussi à l'élaboration d'innovations sur le business model notamment dans la partie revenu et proposition de service.

L'une des solutions énergétique identifiée est celle de l'hydrogène. Aujourd'hui, la principale source de production est le vaporeformage. A l'aide de vapeur d'eau, on sépare les atomes d'hydrogène de celle du carbone qui composent la molécule de méthane (CH<sub>4</sub>). Le résidu de cette méthode est composé de carbone ce qui la rend hautement émettrice de CO<sub>2</sub>. Cependant, de nouvelles techniques via électrolyse permettent de produire de l'hydrogène en limitant les émissions. Cette méthode repose sur le passage d'un courant électrique dans de l'eau (H<sub>2</sub>O). Les atomes d'hydrogène se séparent de celles d'oxygène. Ce procédé se développe de manière industrielle en France avec la construction de centrales PEM (Proton Exchange Membrane). Lorsque l'électricité est produite à l'aide du nucléaire ou des ENR alors l'hydrogène est dit vert. Cet atome présente des propriétés intéressantes. Tout d'abord, il permet de rendre l'électricité stockable. Aujourd'hui, les principales sources de stockage sont les batteries, mais elles nécessitent des quantités

importantes de matières premières, ou bien le pompage turbinage. L'hydrogène une fois stocké peut réaliser le processus inverse afin de générer de l'électricité via des Piles à Combustibles (PAC). Cette technologie se développe dans le secteur de la mobilité. Les entreprises de poids lourds mettent sur le marché les premiers modèles. Les bus fonctionnant à l'hydrogène se répandent de plus en plus dans les parcs de véhicules. La métropole de Rouen va mettre en place une flotte de 14 bus à PAC. L'hydrogène a un second atout lié à ces caractéristiques physiques. Cet atome produit d'importantes quantités d'énergie thermique lorsqu'il rentre en contact avec de l'oxygène. Cette réaction permet de générer 2 fois plus de chaleur que la combustion du gaz que nous utilisons tous les jours. De plus, elle n'a pour seule émission que de l'eau. Cette capacité thermique rend l'application de la molécule beaucoup intéressante dans un grand nombre de domaines où l'électrification n'est pas possible. Comme on a pu le voir précédemment, c'est un enjeu majeur des transitions de notre mix énergétique. Les secteurs d'activités comme l'industrie, l'agriculture et le transport pourraient bénéficier de ces capacités thermiques. Certaines entreprises ont déjà perçu l'intérêt de cette solution. A l'heure actuelle, nous restons cependant à un stade d'invention sur ce qui existe.

Le Commerce Général voit en ces deux sources d'énergies des alternatives possibles aux produits que nous vendons à l'heure actuelle. Le pôle innovation joue un rôle important dans les études et les analyses sur ces sujets. Nous regardons ce qu'il se fait et comment cela pourrait répondre aux besoins de nos clients. L'hydrogène et la biomasse solide représentent pour nous à la fois des moyens de réduire nos émissions de CO<sub>2</sub>, mais aussi d'assurer un maintien et développement nos activités. La gestion de projet d'innovation au sein de TotalEnergies permet de trouver des pistes de réponses aux problématiques auxquelles nous faisons face. Le rôle d'un énergéticien de la taille du Groupe est majeur. Son rayonnement n'est pas limité à l'échelle française mais s'étend aux divers pays dans lesquels elle est présente. Réaliser des transitions énergétiques au sein des mix est un enjeu de société. Cependant pour TotalEnergies et plus spécifiquement le Commerce Général, c'est une nécessité afin d'assurer une continuité dans nos activités.



## 2. Les difficultés au Commerce Général

Lors des parties précédentes, on a pu s'apercevoir que l'innovation représente un intérêt indéniable pour une entreprise. Cependant, malgré de potentiels retours sur investissement, il est rarement aisé de faire émerger un réel projet d'innovation. Le Commerce Général ne fait pas exception. Tout d'abord, il existe des problématiques liées à la structure même de l'organisation. Le CG est considéré comme étant le siège des activités France de TotalEnergies. Le territoire est couvert par quatre filiales. Elles possèdent chacune un siège qui va gérer le bon fonctionnement des activités de dépôts, s'assurer du ravitaillement des stations et des clients. Le Commerce Général va quant à lui coordonner les filiales dans leur fonctionnement et dans le développement de nouvelles activités. De manière générale, la prise de décisions est centralisée au CG. Le pôle Innovation se situe à la direction du siège. De ce fait en découle, un éloignement constant des problématiques rencontrés à la fois par nos clients, mais aussi les salariés. Afin de pallier cela tous les ans, un challenge est organisé dans lequel l'ensemble des salariés présent en filiale et au siège peuvent suggérer des idées et enjeux à résoudre. Les thèmes de cet événement tournent, mais restent principalement tournés à la fois vers la RSE et le développement de nos activités. Des idées intéressantes émergent sur la réduction de la consommation d'eau, la diminution de nos émissions de CO2 par exemple. Cependant, les sujets n'abordent pas de projets autour des nouvelles énergies ou sur les transitions énergétiques. Ce fonctionnement fait ressortir un certain niveau de lassitude de la part des collaborateurs. Cela s'explique notamment par un manque de continuité dans la communication sur l'avancement ou non des projets et des résultats. L'une des conséquences est le développement en nombre de projets Top-Down. Comme on a pu le voir précédemment, cela rend leur gestion plus complexe. On s'aperçoit alors rapidement qu'il ne sera pas facile d'obtenir l'aide des filiales pour le développement du projet. L'une des raisons est qu'elles sont presque exclusivement concentrées sur les parties opérationnelles des activités. Comme on a pu le voir précédemment, il y a de grandes différences entre la gestion opérationnelle et celle de projet qui plus est d'innovation. Les filiales fonctionnent sur un mode très routinier. Ainsi, l'incertitude et le changement sont des aspects qu'elles préfèrent limiter voir éviter. Il est donc

essentiel pour nous de réussir à les convaincre de l'intérêt de nos projets d'innovation pour eux tout en expliquant que cela n'impactera pas la gestion de leurs activités. Un autre aspect ressort dans ces difficultés puisque sans eux la gestion des projets se fait à l'aveugle. Elle doit donc se faire en synergie entre le siège et les filiales sans quoi les chances de succès sont minces.

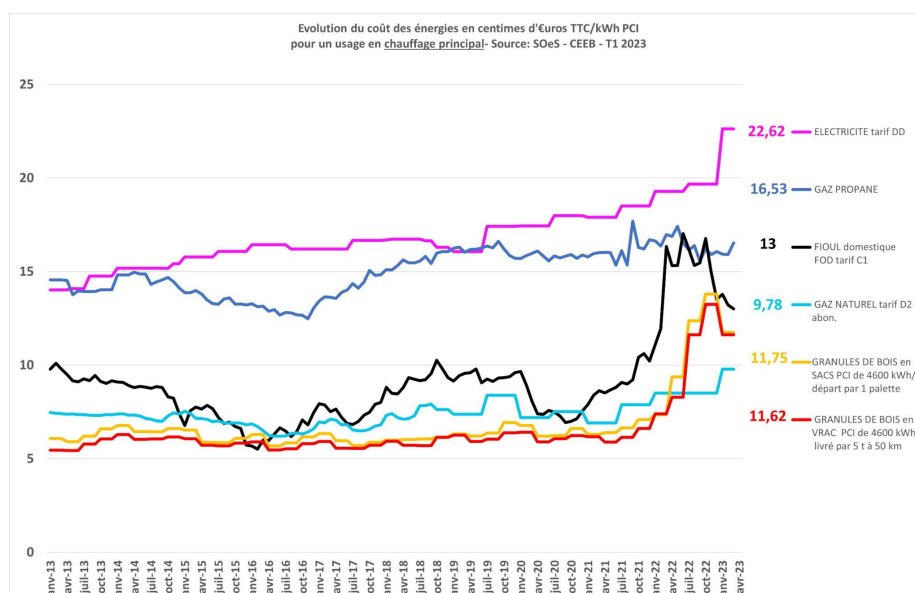
Dans la partie précédente, on a pu voir que les transitions énergétiques étaient pour nous une nécessité en tant qu'énergéticien. Le pôle innovation du Commerce Général se positionne sur ces projets afin d'anticiper de potentiels changements d'activités dans le domaine de l'énergie. Comme tout projet d'innovation, on fait face à des résistances. Nous travaillons sur le développement de nos activités sur la biomasse solide notamment avec le pellet. On cherche à diversifier nos sources d'approvisionnements. Aujourd'hui, le pellet est majoritairement fait à partir de bois résineux comme le pin, sapin, cèdre ou l'épicéa. La demande étant en hausse, il est important de pouvoir diversifier les sources de biomasses permettant de fabriquer les pellets. Dans le cas contraire, nos activités n'auraient pas d'impacts positifs sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Nous avons alors travaillé sur une fabrication à partir de déchets agricoles et alimentaires. Les solutions trouvées sont prometteuses, mais demandent à être améliorées afin de répondre aux critères du marché. Nous avons réalisé une présentation aux secteurs qualités qui a rejeté l'idée même d'étudier les solutions. Les pellets ne respectaient pas les critères actuels donc il n'était pas envisageable de réaliser les tests de combustions dans nos laboratoires. Nous avons essayé de les convaincre que nous ne souhaitons pas proposer ces solutions en l'état. En dépit de nos efforts, on a été obligé de faire les études de notre côté. Sur ce projet d'innovation, on a dû faire face à un blocage externe lié à l'installation de normes. Le pellet est caractérisé par trois classes A1, A2 et B. Le premier est de meilleure qualité, puis cela va en dégressivité sur les suivantes. L'une des caractéristiques principales qui définit l'appartenance à l'un ou l'autre catégorie dépend du type de biomasse (type de bois). Ce qui dans notre cas est point bloquant puisque même en atteignant les spécificités A1, notre solution n'est pas exclusivement constituée de bois. De plus, pour le particulier, si le pellet n'est pas A1 alors il n'est plus couvert par la garantie constructeur du poêle. Ces normes représentent une garantie pour le consommateur et les entreprises produisant et vendant ce pellet. On peut considérer cela comme une barrière à l'entrée sur le marché. Les normes sont dans notre cas

un frein à l'innovation. Cela limite donc notre capacité à proposer un nouveau produit moins émetteur de CO<sub>2</sub> et plus responsable. Il est important dans ce cas d'être persévérant et de continuer à développer les solutions afin d'attendre le bon moment. Cependant, c'est plus facile à réaliser lorsque l'on est un grand groupe. Ce n'est pas le cas lorsqu'une start-up développe ce genre de solution. Malgré tout, nos activités doivent réaliser ces transitions énergétiques afin de ne pas prendre trop de retard.

Ces difficultés normatives sont également présentes sur d'autres sujets de transitions énergétiques de nos produits. Le cas de l'hydrogène en est un parfait exemple. Le pôle innovation étudie son potentiel de développement dans les activités du Commerce Général. Comme on a pu le voir précédemment au-delà de son utilisation dans les piles à combustible, il est possible d'exploiter ses capacités thermiques. Les avantages à cela sont multiples notamment en termes d'économie de ressource, mais aussi de capacités technologiques. La combustion de gaz n'est pas nouvelle. L'industrie exploite déjà la combustion externe pour produire. Il en va de même pour la combustion interne gérée par les constructeurs dans le secteur de la mobilité. C'est le cas pour les camions et bateaux fonctionnant au gaz naturel liquéfié. Ainsi, l'utilisation de l'hydrogène thermique vert pourrait permettre de décarboner certaines industries dépendant de l'énergie thermique. C'est à ce moment que la législation entre en jeu. L'Union européenne a mis en place un traité permettant d'interdire la production de véhicules thermiques à horizon 2035. L'objectif est que la vente de véhicule soit exclusivement réservée à ceux n'émettant pas de CO<sub>2</sub>. L'industrie automobile européenne devait alors s'orienter vers des véhicules électriques ou à pile à combustible. Cependant, nous savons qu'il ne sera pas possible de faire du un pour une avec les véhicules électriques à cause d'un manque de ressources minières. L'application de la législation met alors de côté l'utilisation d'hydrogène vert comme combustible. Tout en sachant que cette ressource n'émet pas de CO<sub>2</sub> lors de la combustion. Cette législation a mis un couteau sous la gorge à notre industrie européenne. A l'heure actuelle, elle n'est pas compétitive d'un point de vue prix et échelle de production, face aux véhicules électriques chinois et américains. Le 27 mars 2023, la commission revoit son projet de loi. Il n'est plus question d'interdire la production de véhicules thermique mais seulement ceux utilisant les énergies fossiles (Diesel, gazole) et l'éthanol. L'hydrogène thermique tire son épingle du jeu de ce changement. Cependant, ce n'est probablement pas cette solution qui a

convaincu la commission. L'Allemagne développe un carburant de synthèse n'émettant pas de CO2. Il y a donc fort à parier que l'industrie automobile allemande ait insisté sur le potentiel de cette solution plus que sur celle de l'hydrogène. Toutefois, cela permet de ne pas tuer dans l'œuf son développement comme combustible interne.

Lors des parties précédentes, on s'est rendu compte que par le passé pour se développer une source d'énergie devait être abondante et peu cher. Pour répondre à nos besoins et à ceux de nos clients, on ne pourra pas se focaliser sur une seule ressource énergétique. Dans le cas contraire, on serait alors obligé de surexploiter une ressource qui malgré sa faible émission de CO2 aura un impact sur l'environnement. Pour le pellet, cela reviendrait à dépasser les 0,7% de croissance de la forêt. Cela nous conduirait à une déforestation et à la destruction d'écosystème. Il en va de même pour l'hydrogène qui nécessite une production importante d'électricité. On serait alors obligé d'augmenter considérablement notre production. Ainsi, si l'on veut réaliser des transitions dans les mix énergétiques, on ne pourra pas compter exclusivement sur une seule ressource. La notion d'abondance disparaît alors de l'équation. Cela peut avoir un impact non-négligeable sur le prix que vont devoir payer les consommateurs de manière directe ou indirecte dans le cas d'une énergie en partie subventionnée. Toutefois, le prix reste un indicateur crucial pour le client. Si une énergie n'est pas compétitive alors elle pâtit d'une plus faible demande. Les conséquences peuvent être importantes sur le développement de la filière. Les économistes se tirent souvent la bourre sur le sujet de l'offre et de la demande. Certains pensent que l'offre tire la demande et le développement, tandis que d'autres pensent l'inverse. Cet impact des prix sur les consciences, nous l'a été rappelé en 2022 lorsque le prix du pellet a augmenté.



Sur le graphique ci-dessus, les courbes orange (en sac) et rouge (en vrac) correspondent au prix du pellet par kwh produit. A partir de janvier 2022, on s'aperçoit d'une hausse importante jusqu'à janvier 2023. La période d'inflation a provoqué une hausse du prix du pellet. De multiples facteurs en sont à l'origine. Le prix des matières premières a subi une hausse importante avec le conflit Russo-Ukrénien. Comme une grande partie des producteurs de pellet sont liés à des scieries, l'activité a été impactée. Il a alors fallu importer le pellet, tout en évitant les provenances de l'est comme la Russie ou l'Ukraine. Les enjeux géopolitiques peuvent peser lourdement sur l'accès et le prix des énergies. En tant qu'énergéticien, nous sommes directement impactés. Nos clients le seront par la suite, puis ce seront les leurs. Dans un système socio-économique, lorsqu'un acteur est touché, en découle un effet domino. Toutefois, le pellet est à l'origine moins cher que le fioul, le propane ou bien l'électricité pour 1kwh d'énergie produite. Il est resté compétitif en comparaison aux autres seulement moins intéressant. L'impact sur l'esprit des consommateurs fut important et engendra son lot de critiques. Il est possible que cela freine la demande en installation de chaudière et produits. Cet événement démontre que même si une source d'énergie est intéressante dans son application et pour l'environnement, le prix restera un facteur clé dans la décision du client.

De manière générale, le CG fait face à des difficultés plutôt courantes sur ces projets d'innovation. Cependant, pour répondre aux enjeux climatiques et sociaux, les transitions énergétiques de nos produits doivent réussir à se faire. L'innovation a un rôle à jouer, mais pour cela, il nous faut lever les problématiques précédemment décrites.

### 3. Comment un grand acteur peut se transformer sans développer l'innovation en interne

Dans le domaine bancaire, une expression est régulièrement utilisée. C'est la notion du "Too big to fail". Elle apparaît aux Etats-Unis dans les années 80. Un agent

du trésor américain est auditionné par la chambre des représentants. Le sujet de celle-ci porte sur le soutien financier de l'État auprès de la Continental Illinois National Bank and Trust Company. Il déclare alors que les organismes de régulation ne laisseront jamais faire faillite l'une des onze plus grandes banques des Etats-Unis. Cette doctrine de soutien est par essence à l'opposé de la vision libertarienne américaine. Cependant, les impacts économiques et sociaux d'un défaut de paiement de telles banques sont considérables [Sebastian C. Moenninghoff, Axel Wieandt, 2011].

On peut se poser la question, en quoi est-ce que cela concerne une entreprise comme TotalEnergies. L'idée derrière cette courte introduction est de faire ressortir cette sensation que l'on peut avoir lorsque l'on travaille dans un grand groupe que celui-ci. On a l'habitude d'être l'entreprise qui possède les capacités financières de racheter n'importe quelle start-Up qui éclos. C'est d'ailleurs pour cela qu'un incubateur TotalEnergies existe au sein de station F. On se sent rarement menacé par l'extérieur dans une telle structure. C'est ce sentiment de toute-puissance qui nous fait nous dire qu'il est impossible de chuter. Il a été possible de penser de la sorte pendant des décennies depuis la création de l'entreprise. Cependant, les enjeux actuels ne sont pas seulement une menace pour les PME ou les ETI. C'est bien l'ensemble de la société Française et mondiale qui est concerné. En effet à court terme, les activités du groupe ne sont pas en danger seulement sur le long terme il en est autrement. Or une entreprise a tout même objectif d'exister et de survivre le plus longtemps possible. Le Commerce Général n'a pas la même garantie de continuité de la performance de ses activités. On a pu le voir précédemment, les caractéristiques du mix énergétique français font que nous ne pouvons être un producteur compétitif d'électricité. Nos produits énergétiques vont devoir réaliser des transitions sur des échéances à court terme. Nos activités fioul vont devoir être en partie remplacées puisqu'elles sont vouées à diminuer. Elles ne représentent plus de levier de croissance. Malgré cela, les choses prennent énormément de temps à évoluer pour les raisons précédemment évoquées. Les activités courantes sont encore la grande priorité. Nous savons que sur certains marchés, nous ne serons pas les premiers à y aller. Seulement, si ça devait fonctionner, le groupe pourrait tenter de racheter des parts ou l'entièreté de l'entreprise, "too big to fail". Il y a de fortes chances que ça se déroule ainsi. Cette posture a cependant un inconvénient,

elle ne pousse pas à développer l'innovation en interne. Toutefois, il existe d'autres avantages sur lesquels l'entreprise peut compter.

Un groupe comme totalEnergies peut compter sur de nombreux atouts afin de réaliser des transitions énergétiques de ses produits. Tout d'abord, de part la taille de la compagnie, nous sommes présents sur l'ensemble du territoire Français et à travers le monde. Cela signifie une présence importante d'infrastructure, réseau logistique, stations service, contrats locaux etc. Cette présence est essentielle puisque l'un des facteurs clés de diffusion d'une énergie repose dans sa capacité à être distribué de manière efficace et à moindre coût. On s'en est aperçu lors des analyses précédemment faites sur la diffusion du charbon avec le chemin de fer et les pipelines pour le pétrole. L'entreprise possède un haut niveau d'expertise dans le transport de matières dangereuses par camions ou bien via ces mêmes pipelines servant au GNL. Ces connaissances techniques sont de réels atouts pour la transformation du groupe vers de nouvelles activités. De plus, le groupe possède une clientèle importante et de secteurs diversifiés. C'est également le cas pour le Commerce Général avec sa forte présence auprès du milieu agricole, du milieu industriel et des particuliers en France. Précédemment, on a pu constater que l'innovation pouvait être bloquée par des normes et législations en place. Nous avons cependant un avantage en tant que grand groupe qui est lié à notre capacité d'influence. Il est plus facile pour une entreprise comme la nôtre d'essayer d'influencer pour la modification de ces normes. On a pu voir que cela avait été le cas pour l'interdiction du moteur thermique. Après, de nombreux échanges avec les grands groupes du secteur automobile, la Commission européenne à changer sa proposition pour 2035. On appelle cette action d'influence le lobbying. On a une vision qui peut être quelque peu controversée de cette pratique. Toutefois, elle peut être faite pour de bonnes raisons au-delà d'un simple intérêt individuel. Dans le cas du développement de la filière du Pellet à partir de biomasse recyclée, il pourrait être nécessaire de réaliser du lobby auprès de l'Association Française de Normalisation (AFNOR). Cet organisme pourrait nous permettre d'inclure d'autres sources de biomasses pour la fabrication du pellet A1 à partir du moment où les spécificités sont respectées. Ces actions d'influence restent cependant complexes malgré l'importance d'un groupe comme TotalEnergies, ça l'est encore plus pour une PME ou start-up. Afin de transformer ses activités, un acteur peut avoir tout intérêt à lier

des partenariats avec d'autres. Dans le cadre du développement de l'hydrogène par exemple, un acteur majeur est déjà présent sur le marché via Air Liquid. Se lancer dans ce secteur d'activité peut représenter un risque important d'échec. Cependant, il est possible de réaliser des partenariats afin d'associer les compétences et avantages de chacun que ce soit dans la production, l'acheminement et la consommation. C'est pour cela que les deux groupes sont liés par des partenariats. Ils peuvent être à but commercial, de recherche et développement via des consortiums ou la création de fonds d'investissements communs. Leur impact sur le développement d'une filière est plus important. Il aurait été plus compliqué et moins intéressant de réaliser ces coopérations entre les deux groupes sans leur pouvoir de marché respectif. Il existe un autre moyen afin de développer les activités du groupe. Une entreprise comme TotalEnergies, possède des capacités d'investissement très importantes. Aujourd'hui le Total Venture Capital fund est fermé. Il permettait d'investir dans un certain nombre de projets innovants. Cependant, l'entreprise investit en collaboration avec d'autres grands groupes dans un fond d'investissement spécialisé sur l'hydrogène. De plus, l'entreprise possède son propre incubateur au sein de station F pour aider à développer des projets tout en ayant la possibilité d'y entrer au capital. Cette manière de faire permet de continuer à développer l'innovation sans pour autant bouleverser le fonctionnement des activités en interne. Un autre avantage apparaît alors. On a pu voir précédemment que l'innovation n'était pas sans risques. TotalEnergies peut avoir tout intérêt à laisser une entreprise se lancer sur un nouveau marché. Cela permet de se donner une idée du potentiel de celui-ci. Dans le cas où elle échouerait pour des raisons autres qu'une mauvaise adéquation entre le besoin et la solution, alors TotalEnergies pourrait la racheter. Dans le cas où cela fonctionne, nous pouvons toujours intervenir comme apporteur de clients afin d'assurer un passage à grande échelle de la solution. Toutes ces caractéristiques de l'entreprise représentent un levier de transformation des activités de TotalEnergies dans de nouvelles sources d'énergies sans pour autant avoir à développer l'innovation en interne. On appelle cela l'open innovation. Toutefois, à l'échelle du groupe, cette partie de l'innovation n'est pas non plus très développée. La raison à cela est liée au peu d'engagement de ressources humaines dans ces projets. Il y a un manque de croyance en ce type d'initiatives de la part du top management. La notion de changement et d'innovation n'est pas profondément ancrée dans l'ADN du groupe. Pour cause, une entreprise comme la nôtre n'a pas



besoin de cela pour réaliser du chiffre d'affaires. L'énergie étant une ressource tellement importante, il n'y a pas besoin d'innover pour répondre aux besoins des consommateurs. Cependant, cette vision pourrait faire face à des limites sur les prochaines décennies. Les enjeux des transitions énergétiques vont provoquer de nombreux bouleversements des activités du groupe.

## C. L'innovation au service de la transition

### 1. Innovation par les usages ?

L'innovation est un processus où la seule volonté ne suffit pas pour le mettre en place. On s'est rendu compte lors des parties précédentes qu'il pouvait y avoir différentes méthodes afin de faire passer l'invention à l'étape suivante. En fonction de la manière dont s'est développé le concept, on ne fera pas face aux mêmes difficultés. On a pu voir que les inventions dites "pull" ou les projets "bottom up", ont en règle générale plus de facilité à se développer. C'est notamment dû au fait qu'ils se sont appuyés sur des besoins exprimés par les utilisateurs. Il sera plus aisé par la suite de conquérir un nouveau marché. Cependant, l'innovation n'est pas un processus linéaire où l'application d'une méthode permet d'obtenir le résultat escompté. Elle est d'ailleurs le strict opposé de cela. Par essence, l'innovation de rupture bouleverse et transforme le milieu dans lequel elle apparaît. Nous allons voir que dans le cas de transitions énergétiques, l'innovation par les usages peut permettre un développement plus rapide de projet. Néanmoins, dans le cas des transitions énergétiques, ce n'est pas nécessairement le principal facteur de développement. Dans le passé, on s'est aperçu que l'utilisation d'une énergie se répand lorsque certains critères se développent en concomitance les uns avec les autres. Le premier réside en effet à sa capacité à répondre aux besoins du consommateur. Ainsi, cela va dépendre des caractéristiques physiques et chimiques de chaque ressource. On ne peut pas demander à ce que le charbon permette de répondre aux mêmes besoins que le pétrole. Il en va de même pour l'électricité. Ce constat rend compte d'un problème évident. On ne peut pas parler d'une transition énergétique mais d'une multitude en fonction des besoins et des caractéristiques des sources énergétiques. Le deuxième correspond à la capacité du marché à fournir

cette ressource en grande quantité. Ce critère fait intervenir les notions de prix et de transportabilité. On a pu voir que le pétrole tire son épingle du jeu pour un même usage par rapport au charbon, car il est plus aisé à transporter. Il est aussi moins coûteux à extraire et demande moins d'intervention humaine sur l'ensemble des processus. La présence de nœuds énergétique est alors moins importante ce qui permet de diminuer son blocage. Le troisième critère est lié à la technologie. Lors de la partie I, on s'est rendu compte que le développement d'une énergie se faisant en synergie avec l'innovation technologique. La machine à feu ne s'est imposée qu'à partir du moment où elle fût capable d'avoir des capacités plus importantes que celle des attelages. Le rendement énergétique est ce qui a toujours primé depuis que nous utilisons de l'énergie dans nos activités. Il faut que la matière entrante produise plus d'énergie qu'il en est nécessaire pour la produire. Cependant, cette vision doit changer pour que nous puissions répondre aux enjeux actuels. Nous faisons aujourd'hui entrer une autre variable que le rendement énergétique. C'est celle des émissions de CO<sub>2</sub>. Pour un même usage, nous devons prendre en compte cette variable plus que la première. Nous pouvons prendre l'exemple de l'hydrogène vert comme combustible. Le rendement énergétique sur l'ensemble de la chaîne de production est moins intéressant que l'utilisation d'énergie fossile. Pour la simple raison qu'il fait intervenir plus de processus de transformation. On va devoir produire de l'électricité puis la transporter afin qu'elle alimente un électrolyseur. A son tour, celui-ci va produire de l'hydrogène qui va devoir être transporté pour servir de combustible afin de générer de la chaleur. Lors des trois étapes de transformations, une perte d'énergie se fait. La production d'essence et de gazole n'en demande pas autant. Cependant, l'hydrogène lui sur l'ensemble de la chaîne à un potentiel de réduction des émissions incomparables. On doit donc privilégier la source d'énergie qui émet le moins de CO<sub>2</sub> pour un même usage. La technologie va aussi permettre une amélioration de la performance des différentes étapes du processus. Ça a été le cas lors de l'introduction de lubrifiant issu du pétrole dans la mécanique de la machine à vapeur. Une amélioration de l'efficacité énergétique permet de la rendre plus attractive. En améliorant le rendement énergétique des différentes étapes du processus, on permet de diminuer les coûts de production. Cela peut permettre de diminuer le prix pour le consommateur. Il y a une corrélation directe entre le développement technologique pour extraire et produire une énergie, sur le coût final de celle-ci. On l'a observé sur le cas du charbon en France, mais aussi sur le pétrole

de schiste aux Etats-Unis. Étant moins facile d'accès, il demande des compétences technologiques bien plus importantes. Les coûts liés à la production et à l'exploitation sont plus élevés. Or, le prix reste l'un des facteurs les plus importants pour le consommateur. Bien qu'une nouvelle énergie réponde aux besoins si le prix n'est pas compétitif alors elle ne sera pas choisie. De plus, la guerre en Ukraine a permis de se rendre compte de l'importance de l'accès à l'énergie et du coût que cela représente. Ainsi, le développement technologique de la filière a une importance majeure pour la rendre attractive. Cependant, on a aussi pu voir lors des parties précédentes que notre rapport à l'énergie devait changer. Il sera difficile, voire impossible de produire autant d'énergie que par le passé à des prix aussi faibles. De plus, l'innovation par les usages se confronte à une autre difficulté. En effet répondre à un besoin n'est pas suffisant pour l'atteinte de nos objectifs de réductions des émissions. D'un point de vue technologique, ce n'est pas toujours réalisable et encore moins vis à vis du stock de ressources. Donc une bonne adéquation entre l'usage et l'énergie est indispensable sans quoi il pourrait y avoir des effets rebond. Dans ce cas, il est possible que cette nouvelle solution soit plus impactante sur l'environnement que celle initiale.

Il est complexe de définir ce qui a principalement tiré le développement des sources d'énergies par le passé. Toutefois, dans le cas des transitions énergétiques, les usages et besoins des consommateurs sont connus. Ils varient en fonction des secteurs d'activités et des champs d'application des énergies utilisées. Le principal défi réside dans la manière de trouver une solution permettant de se substituer à la précédente. C'est en ce sens que la technologie doit permettre le développement de ces nouvelles filières. On se rend compte de cela lorsque l'on se rend aux salons spécialisés. Nous nous sommes présentés sur celui de l'année 2022 au parc des expositions Porte de Versailles. Le salon Hyvolution présentait un large panel d'entreprises, de pôles de compétitivités, cabinets de conseils et laboratoires de recherche. On s'aperçoit rapidement que l'ensemble de ces acteurs sont orientés vers le développement technologique de la filière. On retrouve des entreprises spécialisées sur l'amont donc la fabrication industrielle d'équipements comme les électrolyseurs, moteurs thermiques, piles à combustible etc. Il y a les producteurs et les transporteurs. Sur le salon, il n'était présent qu'une entreprise réalisant du service hors cabinet de conseil. Elle est cependant productrice de son hydrogène et assure l'approvisionnement des taxis fonctionnant à l'hydrogène sur Paris. L'ensemble des

entreprises œuvrent pour le développement de la filière d'un point de vue technologique. Aujourd'hui, les innovations dans le secteur de l'énergie sont descendantes des entreprises vers le consommateur. Nous connaissons aujourd'hui les besoins énergétiques des différents secteurs seulement nous n'avons pas la solution énergétique afin d'y répondre. Ainsi, le développement structurel et technologique d'une nouvelle source d'énergie décarbonée représente le facteur essentiel dans les transitions énergétiques de nos mix.

## 2. Analyse systémique

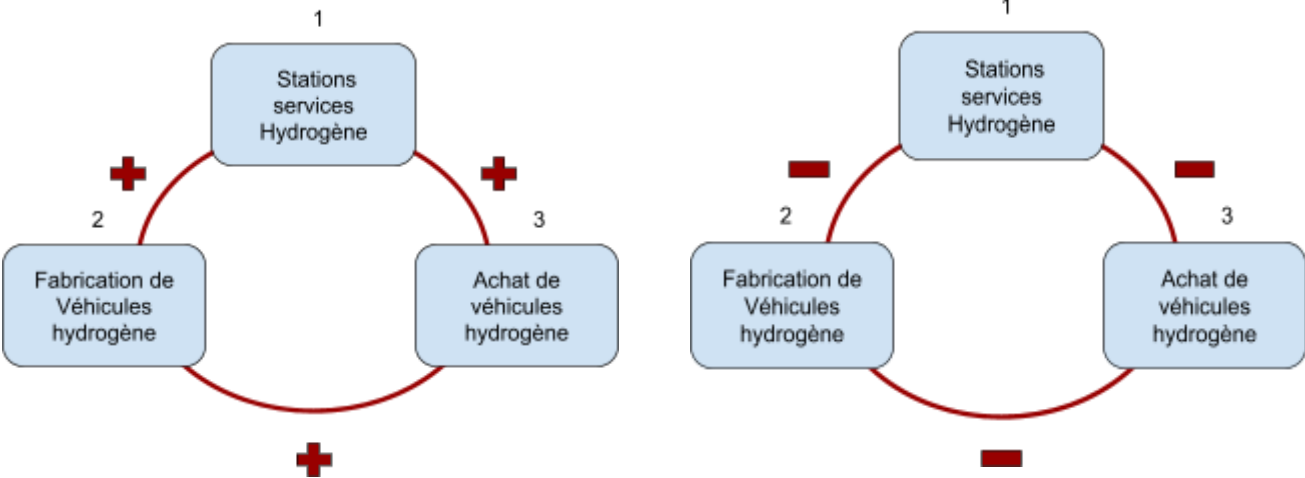
Tout au long du mémoire, nous n'avons pas cessé de voir la complexité des enjeux auxquels nous faisons face tout comme des potentielles solutions. La raison de cela réside dans l'aspect systémique du monde dans lequel nous vivons. Ce prisme est essentiel à adopter pour comprendre l'environnement dans lequel TotalEnergies évolue. Pour appréhender l'effet systémique du développement de projet, le paradoxe de l'œuf et de la poule est intéressant. L'éternelle question est de savoir lequel des deux est apparu le premier sur Terre. La poule pond un œuf qui devient par la suite une poule. Si l'œuf apparaît en premier, il faut qu'il eût une poule pour le pondre. La réciproque est également vraie. Si c'est bien la poule l'être originel alors il a bien fallu qu'elle soit un œuf pour devenir ce qu'elle est. On voit ici le paradoxe. Les enjeux de transition énergétique peuvent suivre ce schéma. Le cas de l'hydrogène est marquant sur ce sujet. Lors de notre visite du salon Hyvolution, ce dilemme est ressorti un grand nombre de fois de la part de nos différents interlocuteurs. On se dit que TotalEnergies doit développer des capacités de production d'hydrogène et des stations pour le distribuer. Toutefois, mettre en place ces infrastructures coûte cher. Il est donc essentiel pour l'entreprise de s'assurer qu'il y ait de la demande. Dans le cas contraire, ce n'est pas intéressant pour l'entreprise de se lancer sur un tel projet. Les groupes automobiles ont le même dilemme. Ils n'ont pas intérêt à développer un véhicule thermique hydrogène s'il n'y a pas d'infrastructure suffisante pour le ravitaillement. Puisque si ce n'est pas le cas, le client ne va pas acheter cette nouvelle voiture. Ainsi, la demande pour le constructeur automobile n'est pas non plus suffisante pour se lancer. On retrouve ici le paradoxe de l'œuf et de la poule. Les acteurs se renvoient la balle sur qui doit-être à l'origine du développement de la filière. Sans infrastructures il n'y a pas de

demandes et sans demande il n'y a pas d'infrastructure. Cette boucle infernale n'a pas de fin et nuit à notre capacité de faire face aux enjeux de transitions énergétiques. C'est là qu'un autre acteur intervient, l'État. Son rôle est majeur puisque sans lui, il est possible qu'aucune entreprise ne se décide à faire le premier pas. L'Etat est en quelque sorte le garant d'une vision long terme des projets. Il peut alors se décider d'investir lui-même dans les infrastructures en mandatant des entreprises pour réaliser leur mise en place. L'Etat peut aussi subventionner leur développement afin de compenser des délais à partir desquels la demande et l'offre se rejoignent. Ce système est déjà mis en place en France pour le développement des énergies renouvelables comme l'éolien. Le prix de l'électricité produite est en partie subventionné pour rendre attrayant les investissements. L'Allemagne fait la même chose pour les stations hydrogène. Elles sont subventionnées par l'Etat pour s'assurer du développement de la filière. L'Etat peut aussi contraindre les entreprises à la réduction ou compensation de leurs émissions. Le dispositif des C2E en est un exemple. L'objectif étant de faire réaliser un quota de certificats d'économie d'énergie sous quoi l'entreprise est pénalisée. Ces titres peuvent être revendus sur les marchés financiers afin qu'une entreprise n'ayant pas fait son quota puisse alors compenser avec une autre ayant un excédent. Ce dispositif est présent en France et dans certains pays européens. A l'échelle de l'UE, il existe aussi des subventions pour développer cette filière. Dans le domaine de l'énergie l'état est très présent. Lors d'un échange avec le Directeur du Commerce Général, on a pu comprendre l'importance des directives du gouvernement sur la feuille de route du groupe. Durant la première partie, nous nous sommes aperçu de l'étroite relation entre l'Etat Français et TotalEnergies ce depuis son origine. Bien que le gouvernement ne soit plus au capital de l'entreprise, elles existent toujours. Ces relations ont même été bien utiles afin d'assurer un minimum d'approvisionnement de GNL en France durant le conflit Russo-Ukrénien. L'effet systémique de la transition énergétique fait ressortir un autre dilemme, celui du prisonnier. Il découle en partie de celui de l'œuf et de la poule. De manière individuelle, TotalEnergies n'a pas intérêt à arrêter ces investissements dans les énergies fossiles. La raison est simple, si elle décidait de la faire, sa part de marché serait juste distribuée aux autres acteurs. Cela signifie donc une perte de chiffre d'affaires qui se traduit inévitablement par une baisse des investissements possibles dans les ENR. C'est le cas pour les autres grandes compagnies pétrolières. En revanche, dans le cas d'une collaboration entre les

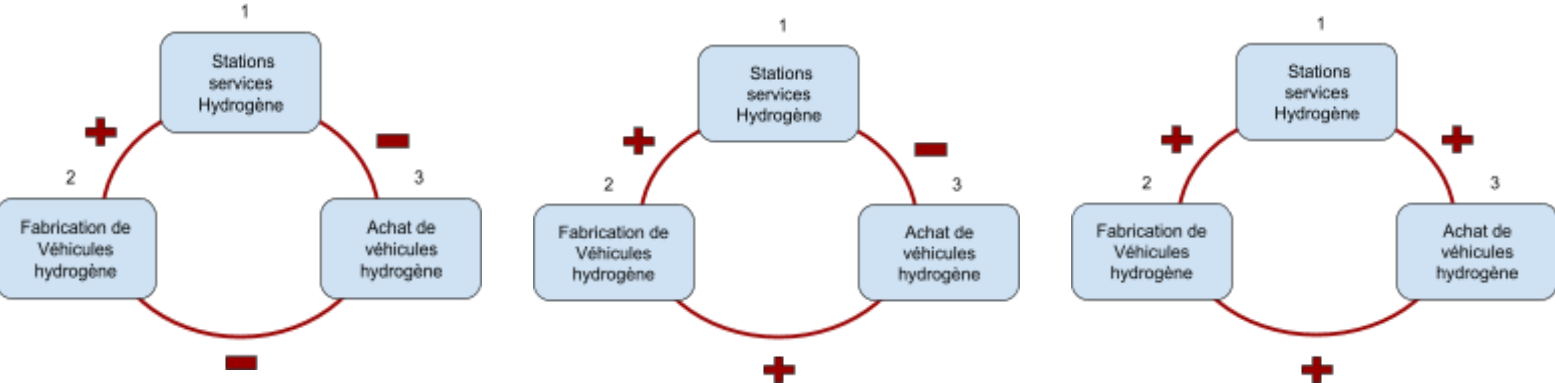
différents acteurs, l'entreprise s'assure d'un meilleur résultat dans le développement des énergies renouvelables sans pour autant perdre toutes ses parts de marché. Les transitions énergétiques au sein de notre mix ne pourront se faire sans la collaboration. TotalEnergies l'a bien compris notamment en se positionnant en tant que partenaire d'Air liquide pour le développement de la filière Hydrogène. Au sein du Commerce Général, on observe ce phénomène avec l'arrêt de nos ventes de fioul lourd. Nos clients industriels ne vont pas pour autant changer de système énergétique. Ce sont nos concurrents qui vont récupérer les contrats afin de se substituer à notre offre. Ainsi, l'impact sur les émissions de l'entreprise va être positif. Cependant à l'échelle du système ce ne sera pas le cas. En l'absence de proposition de solution énergétique intéressante, les clients ne vont pas arrêter de consommer du fioul lourd. Le gaz naturel bien que moins émetteur n'est plus une solution envisagée à court terme à cause de la hausse des prix liés aux conflits énergétiques. On se rend alors bien compte que le moindre bouleversement dans le système mondial a des effets directs sur nos clients. Pour répondre aux enjeux de transitions énergétiques, il est nécessaire de garder en tête cette vision systémique. Lors de la partie II du mémoire, nous avons pu voir que ces transitions ne sont pas des événements sans conséquences. Leurs impacts sur la société sont majeurs si elles ne sont pas réalisées en prenant en compte la dépendance des secteurs d'activités aux ressources fossiles. Les conséquences ne sont pas seulement économiques mais aussi sociales. Si l'on ne prend pas en compte le système dans son ensemble, ce sont des enjeux à court terme qui vont ressortir. Nous avons pu voir précédemment que le bon fonctionnement global de notre société dépend en partie du niveau de croissance économique. Une fois avoir dit cela, il ne faut pas pour autant rester immobile face aux enjeux.

Afin de pouvoir répondre aux enjeux de transitions énergétiques, il nous faut alors établir une cartographie de l'environnement. Celle-ci va vous permettre de mieux l'appréhender afin de passer d'une analyse conventionnelle à systémique. L'objectif est de comprendre les interconnexions composant un système afin de pouvoir cibler un axe à partir duquel nous pourrions résoudre un enjeu. En déterminant cela, il sera possible d'appréhender les potentiels effets rebond d'une modification. Lors de cette cartographie, on va tenter d'identifier l'ensemble des parties prenantes du système que nous avons choisi. Une fois cela réalisé, nous

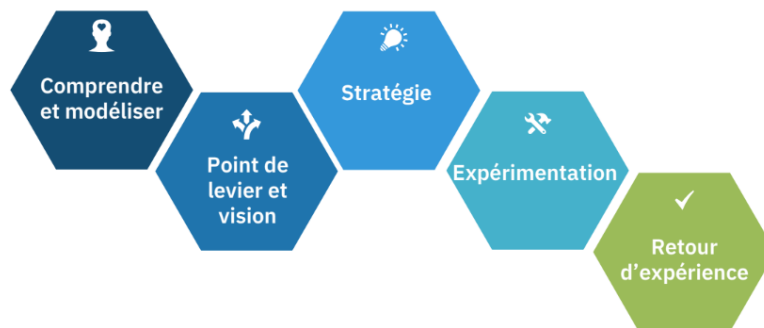
pourrons essayer d'en définir les relations. On pourra observer des dynamiques. Certaines sont équilibrantes, car elles maintiennent une forme d'équilibre du système tandis que d'autres sont dites de renforcement. Ces boucles de renforcement peuvent être positives ou négatives. Dans le second cas, elles peuvent conduire à un déséquilibre profond du système. Pour expliquer cela, nous pouvons reprendre l'exemple des stations hydrogènes. On retrouve ci-dessous deux boucles de renforcements. Celle de gauche est vertueuse puisqu'elle conduit au développement de la filière tandis que celle de droite est néfaste [Valérie Chanal, 2023].



Lorsque l'on a cartographié suffisamment profondément un système, il devient possible d'identifier des leviers d'actions. En reprenant l'exemple ci-dessus, on peut notamment penser à agir sur les deux premiers rectangles. On planifie une stratégie permettant de passer de la boucle néfaste à celle vertueuse. Pour cela, il peut être envisageable de lier un partenariat entre TotalEnergies et fabricant automobile. On crée alors une nouvelle inertie positive à la boucle que l'on peut voir ci-dessous.



La création de boucle vertueuse peut cependant prendre du temps à se mettre en place. Une fois un partenariat de mise en place, il faut attendre le développement des infrastructures et des véhicules. On estime que pour l'hydrogène, il faut attendre la fin de la décennie pour que la filière soit prête. Il peut aussi arriver que la solution envisagée ne fonctionne pas. Dans ce cas, on réalise un REX (retour d'expérience) afin d'évaluer ce qui a marché ou non. Cette démarche que nous venons de suivre s'inspire du design thinking.



[Valérie Chanal, 2023]

Cette méthode s'appelle le design systémique. Elle se compose en 5 étapes comme on peut le voir sur l'image ci-dessus. Elle se distingue du design thinking car ce n'est plus une compréhension des pratiques et des usages qui nous intéressent, mais une vision globale du fonctionnement d'un système. A partir de cela, on peut identifier un levier et une stratégie associée afin d'agir sur celui-ci. Les deux dernières étapes sont quant à elles similaires. Cela en va de même pour l'aspect itératif du processus.

Le changement par l'intérieur du système se fait sur du moyen à long terme. La raison est liée à l'aspect structurel et à l'essence même d'un système. Son objectif est de continuer à se développer tout en résistant au aléa. Cette résistance lui permet d'apporter de la stabilité aux éléments qui le composent. Cette force est aussi sa plus grande faiblesse. Lorsque le changement est trop brutal pour l'ensemble des acteurs alors il y a un effet de résistance qui l'empêche d'évoluer. Dans le cas des transitions énergétiques, nous observons ces difficultés. Ils existent de différentes



manières pour intervenir sur un système. Nous pouvons essayer de changer la manière de penser et les comportements en son sein. Il est possible de tenter de restructurer l'organisation du système. Lorsqu'un processus est mis en place pour le changer, on peut appuyer ce changement en le faisant passer à l'échelle supérieure en termes de développement et de mise en place. L'ensemble de ces interventions est une fois de plus complexe à mettre en place. Il faut que le système soit suffisamment apte pour réaliser une transition. De plus, en fonction de l'échelle à laquelle on est (Macro, micro), il sera plus ou moins facile d'agir. Ces méthodes restent plutôt consensuelles avec l'environnement dans lequel elles évoluent ce qui peut freiner leurs impacts. Il existe une dernière solution qui quant à elle permet une rupture avec le système précédent, l'innovation.

Lors des parties précédentes, nous avons pu voir que l'innovation est un processus complexe. Celle de rupture vient souvent se développer en marge du système pour les raisons que nous avons vu lors du dernier paragraphe. C'est pour cette raison que l'innovation peut mettre du temps à s'imposer. Le régime socio-technique et économique en place va résister aux changements qu'impose cette nouvelle invention. Seulement, si celle-ci finit par réussir, c'est bien parce que le système en place n'a plus les réponses adéquates pour faire face aux enjeux. L'innovation de rupture fait en quelque sorte office du dernier fusible possible pour permettre la transition. Elle va cependant avoir besoin des méthodes vues auparavant afin de conduire le changement en interne.

# Conclusion

Tout au long du mémoire, nous avons tenté de nous approcher le plus possible d'une vision d'ensemble de l'enjeu complexe que représentent les transitions énergétiques. Au cours de celui-ci, on aura mis en lumière les caractéristiques du développement d'une nouvelle source énergétique. On s'aperçoit que l'exploitation de la ressource est étroitement liée au développement technologique de son extraction, mais aussi de son utilisation. Ses caractéristiques physiques et chimiques lui permettent d'être utilisé dans différents domaines et secteurs d'activités. Ces nouvelles ressources énergétiques, qu'étaient le charbon puis le pétrole, ont eu des impacts sur le développement industriel et social. Leurs utilisations ont permis de créer des environnements socio-techniques et économiques qui lient aujourd'hui l'ensemble des acteurs composant notre société moderne. De ces liens, nous avons pu nous apercevoir de notre dépendance vitale aux énergies fossiles. Cependant, les enjeux liés au réchauffement climatique rendent indispensable la sortie d'un tel système énergétique. Les impacts de cette consommation sont considérables et vont empirer si nous restons dans l'inaction. C'est pour cela que nous avons par la suite abordé la notion de transition. Celle-ci doit nous permettre de passer d'un modèle reposant principalement sur le fossile à celui fonctionnant aux énergies renouvelables. Or, dans la pratique, on a pu observer que cette transition ne se réalise pas. Nous assistons à une accumulation des moyens de production d'énergies à la place d'une substitution. Les raisons sont multiples. Elles découlent des caractéristiques d'exploitation des énergies fossiles notamment liées aux enjeux géopolitiques, industriels et sociaux. De plus, la constante hausse de la demande énergétique rend impossible la diminution de l'extraction de ressources non-renouvelables. Nous avons alors décidé de changer cette notion de transition énergétique vers une vision plus applicable. Il n'est plus question de réaliser une transition unique vers les ENR, mais de faire évoluer les mix énergétiques des pays de sorte à réduire les émissions de gaz à effet de serre. On s'intéresse donc à répondre aux usages d'une énergie afin de réaliser des changements optimaux. Il est important de prendre en compte cet aspect pour limiter les potentiels effets rebond. Toutefois, nous avons pu voir que le développement

d'une énergie dépendait en grande partie de son développement technologique ainsi que de ses caractéristiques physique et chimique. Ces contraintes conduisent à différentes transitions trop lentes au regard des enjeux déjà présents. Il est donc essentiel d'accélérer leurs mises en place.

Ainsi, nous avons cartographié le système énergétique à travers une vision macroscopique. On a pu en déterminer les interdépendances des acteurs. Ce sont celles-ci qui rendent les transitions complexes et qui limitent notre capacité d'agir. Cette cartographie permet de mieux visualiser l'environnement dans lequel TotalEnergies et plus spécifiquement le Commerce Général évoluent. Pour l'entreprise, l'ensemble de ces enjeux climatiques, économiques et technologiques représentent à la fois des menaces, mais aussi des opportunités. Ainsi, afin d'envisager des pistes de solutions, nous nous sommes intéressés à ce que la gestion de projets d'innovation pouvait apporter comme réponse aux enjeux de transitions. Ils représentent un levier intéressant de conduite du changement au sein des organisations. Il est possible de développer l'innovation en interne ou bien externe via l'open innovation. Ces deux méthodes nécessitent un état d'esprit des collaborateurs et une culture transversale l'organisation. On ne peut pas avoir la même approche lors d'un projet d'innovation que dans la gestion opérationnelle des activités. Cette dichotomie représente un blocage à l'innovation lorsque le second prend le pas sur le premier. Ainsi, la concrétisation de projets d'innovation reste complexe pour les mêmes raisons que les transitions énergétiques. Une innovation vient répondre à un enjeu dont la société n'est pas capable d'accepter dans son propre fonctionnement. Cela occasionne nécessairement des changements auxquels certains acteurs ne seront pas prêts ou aptes à faire face. Néanmoins, la réalisation de la cartographie du système énergétique et des liens d'interdépendance entre les acteurs, peut nous permettre d'identifier en amont les potentiels freins. En choisissant un levier d'action sur le système, il est possible de lui associer une invention. En fonction de variables endogènes que l'on a identifiées et exogènes dont nous n'avons pas le contrôle, elle pourrait alors devenir ou non une innovation. Mener la conduite du changement ne se fait cependant pas uniquement en amont. Elle doit être faite tout au long du processus jusqu'à ce que le système l'incorpore et se restructure.

Durant ce mémoire, nous avons pu nous apercevoir de la complexité que représente la conduite du changement en période de transition énergétique. Il est difficile de pouvoir identifier des solutions et leviers d'évolution de notre société. C'est pour cela que l'objectif principal de ce mémoire est d'étudier ce qu'est un système énergétique. En comprenant son fonctionnement à l'aide d'une analyse systémique, on perçoit alors mieux les enjeux associés aux transitions énergétiques. La complexité du changement face à la nécessité de le faire ne doit cependant pas nous paralyser. A vrai dire, de ces analyses, on peut en tirer une solution toute simple. Les actions individuelles ne sont pas neutres. Si l'ensemble des acteurs comprend les enjeux et décide d'agir, il nous sera alors plus facile de réaliser ces transitions. De ce phénomène, une légende amérindienne en raconte une histoire inspirante. Lorsque le feu s'abat sur la forêt, tous les animaux sont alors effrayés. Le petit colibri quant à lui vient déposer avec son bec quelques gouttes d'eau. Les autres animaux lui font comprendre que cela n'est pas suffisant et dérisoire. Le colibri réplique alors : "Je le sais, mais j'ai fait ma part."

## Bibliographie :

### Ouvrages :

- Auzanneau Matthieu. 2021. *Or noir : La grande histoire du pétrole*, La Découverte
- Norbert Alter. 2000. *L'innovation ordinaire*, Presse Universitaire Française
- Alain Beltran, Christophe Bouneau, Yves Bouvier (2009), *Etat et énergie XIX-XX siècle*, Vincennes : Institut de la gestion publique et du développement économique, <https://doi.org/10.4000/books.igpde.6596>.
- Fabrice Bensimon, Stéphane Lebec. 2013. *Histoire des îles britanniques : Chapitre XIX*, page 647- 686, Presse Universitaire Française. <https://doi.org/10.3917/puf.lebec.2013.01>
- Robert Boyer, Jean-François Vidal. 2018. *La théorie de la régulation au fil du temps : Sorties de crise et changements institutionnels : le cas des années 1873-1896*, <https://books.openedition.org/emsha/268>
- Xavier Daumalin, Sylvie Daviet, Philippe Mioche. 2004. *Territoires européens du charbon*, Presse Universitaire de Provence, Page 53-73.

- Hervé Piégay, 2013, L'énergie à découvert : Les barrages ont-ils un impact environnemental négligeable ?  
<https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs.11152>
- Timothy Mitchell. 2013. *Carbon Democracy : Le pouvoir politique à l'ère du pétrole*, La Découverte
- Richard Soparnot, Eric Stevens, Alter, 2007, Management de l'innovation, Edition DUNOD.
- VIDAL, Jean-François. 2018. *Sorties de crise et changements institutionnels : le cas des années 1873-1896* In : *La Théorie de la Régulation au fil du temps : Suivre l'évolution d'un paradigme au gré des transformations des capitalismes contemporains*, Éditions des maisons des sciences de l'homme associées, Page 93-101. <http://books.openedition.org/emsha/268>

#### Articles de revue :

- Michel Archesnay. 2017. *L'entrepreneuriat : des logiques aux pratiques d'actions ( chapitre 4 : l'artisanat entre évolution et révolution)*, page 55-68.  
<https://doi.org/10.4000/books.pup.33240>.
- Esther Bailleul. 2019. Le territoire et ses acteurs, fragile, pilier de la transition énergétique Française, Revue international et stratégique.  
<https://doi.org/10.3917/ris.113.0107>

- Sebastian C. Moenninghoff, Axel Wieandt. 2011. Too big to fail?! Leçons de la crise financière, Revue D'économie Financière, N°101, Page 231-260. <https://doi.org/10.3917/ecofi.101.0231>
- Valérie Chanal, 2023. Manager des projets complexes, IAE Grenoble Cours
- Philippe Charlez. 2016. Géopolitique de la transition énergétique, Géoéconomie N°82, Page 109-132 <https://doi.org/10.3917/geoec.082.0109>
- Jean-Marie Chevalier. 1980. L'industrie pétrochimique internationale, Revue d'économie industrielle. Page 150-159. <https://doi.org/10.3406/rei.1980.958>
- Jean-Pierre Favennec. 2009. *Quelles énergies ?*, Geoéconomie N°51. Page 49 à 62. <https://doi.org/10.3917/geoec.051.0049>
- Alan Fernihough, Kevin Hjortshøj O'Rourke. 2014. *Coal and the industrial revolution*, DOI : 10.3386/w19802.
- Antoine Fremont. 2019. Le transport maritime depuis 1945 : facteur clé de la mondialisation, HAL Open Edition (HAL Id : hal-02196047) <https://hal.science/hal-02196047/>

- Jochen Gucks. 1999. Le rôle du chemin de fer dans la déportation des juifs de France, Revue Histoire de la Shoah, Page 29-110. <https://www.cairn.info/revue-revue-d-histoire-de-la-shoah1-1999-1-page-29.htm>
- Henry de Lemley. 2006. *Il y a 400 000 ans : la domestication du feu, un formidable moteur d'hominisation. Paléontologie humaine et Préhistoire*, Page 149-154, Comptes Rendus Palevol. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2005.11.014>
- Derk Loorbach, Niki Frantzeskaki, Flor Avelino. 2017. Sustainability Transitions Research : Transforming Science and Practice for societal Change. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021340>
- Jean Pierre Morin, 2008, La gestion des changements profonds en gestion de projets: Que faire quand rien ne va plus ?, La Revue des Sciences de Gestion, Page 45-52. <https://doi.org/10.3917/rsg.231.0045>
- Francine Pellaud, 2017, Changements climatiques et transition énergétique : complexité, approche systémique et cartes conceptuelles. Revue Francophone du Développement Durable, N°9.
- Marc SIMARD. 1983. Revue du Nord : *Situation économique de l'entreprise et rapports de production : le cas de la Compagnie des Mines d'Anzin (1860-1894)*. Page 581-602 . <https://doi.org/10.3406/rnord.1983.3955>



- Christophe Studeny. 2005. *Une histoire de la vitesse : le temps du voyage*, Presses de l'Université Saint-Louis. Page 112-128. <https://doi.org/10.4000/books.pusl.10776>
- Thomas Vaisset . 2022. Du charbon au mazout : la révolution de la chauffe dans la Marine nationale (1895-1935), HAL Open Science (HAL Id: hal-02501156). <https://hal-normandie-univ.archives-ouvertes.fr/hal-02501156>
- Mohammadreza Zolfagharian, Bob Walrave, Rob Raven, A. Georges L. Romme, 2019, Studying transitions : Past, present and futur. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.04.012>.

#### **Etudes et Enquêtes :**

- Ademe, 2012, Analyse économique de la dépendance de l'agriculture à l'énergie. <https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/3639-analyse-economique-de-la-dependance-de-l-agriculture-a-l-energie-evaluation-analyse-retrospective-depuis-1990-et-scenarios-d-evolution-a-2020.html>
- Banque mondiale de donnée. 2020. *Transport aérien de voyageur*. <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/IS.AIR.PSGR>
- Banque mondiale de données(2020), *Transport aérien pour le fret*. <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/IS.AIR.GOOD.MT.K1>

- Données gouvernementales. 2022. *Comment le système de retraites est-il financé* ?  
<https://www.vie-publique.fr/fiches/37946-comment-le-systeme-de-retraite-est-il-finance>
- Données gouvernementales. 2023. *Budget de l'état*.  
<https://www.budget.gouv.fr/budget-etat>
- Gouvernement. 2021. *DataLab : Chiffres clés de l'énergie 2021*.  
<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2021/livre>
- INSEE. 2020. *Chiffres clés de la fonction publique*,  
<https://www.fonction-publique.gouv.fr/files/files/Publications/Rapport%20annuel/2022/CC-2022-web.pdf>
- LEYTON, KANTA, 2021, *Baromètre de l'innovation 2021*,  
[https://leyton.com/fr/wp-content/uploads/sites/4/2021/06/Barometre-de-linnovation\\_-Leyton-x-Kantar-1.pdf](https://leyton.com/fr/wp-content/uploads/sites/4/2021/06/Barometre-de-linnovation_-Leyton-x-Kantar-1.pdf)
- Nuclear Energy Agency, *Données sur l'énergie nucléaire 2016*,  
[https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/donnees\\_nucleaire\\_2016.pdf](https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/donnees_nucleaire_2016.pdf)

- Rapport du GEIC. 2023.  
[https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf)

#### Sites Internet :

- European Chemical Industry Council. 2022.  
<https://www.petrochemistry.eu/about-petrochemistry/flowchart/>
- Hagop Demirdjian (2005). *Les combustibles fossiles : formation, composition et réserves.* Chimie organique, Page 1-5.  
<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-organique/synthese-et-retrosynthese/les-combustibles-fossiles-formation>
- Ministère de la Transition Écologique. 2021. Atteintes aux écosystèmes et à la biodiversité : quels liens avec l'émergence de maladies infectieuses zoonotiques ?  
<https://www.notre-environnement.gouv.fr/actualites/essentiels/article/zoonoses-quels-liens-entre-atteintes-a-la-biodiversite-et-pandemies>